FONDO PIZZOFALCONE

12 B 15

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XVI

Palchetto

Num.° d' ordine 3F34

NAZIONALE
B. Prov.
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
63
NAPOLI

Digitized by Google

B. Pow

II

63.

Digitized by Google

TRAITÉ

DE PHYSIQUE.

Paris.—Typographie de Firmin Didot Frères, rue Jacob, 56.

Digitized by Google

609107

TRAITÉ DE PHYSIQUE

CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS

AVEC LA CHIMIE

ET

LES SCIENCES NATURELLES,

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT,
PROFESSEUR-ADMINISTRATEUR AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE,
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES,
DE L'ACADÉMIE DE BERLIN, DES SOCIÉTÉS D'HISTOIRE NATURELLE DE PARIS,
DE CORNWAL, DE GENÈVE, ETC, ETC.

TOME SECOND.

BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

PARIS,
LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
RUE JACOB, 56.

1844.

Digitized by Google

TRAITÉ DE PHYSIQUE

DANS SES RAPPORTS

AVEC LA CHIMIE

ET

LES SCIENCES NATURELLES.

SUITE DU LIVRE III.

CHAPITRE IV.

De la chaleur spécifique des corps simples et composés, et des lois qui la régissent.

Il n'a encore été question de la chaleur que sous le rapport de sa production daus les actions physiques et chimiques, et nullement dans les phénomènes de la vie; cette dernière partie de la question sera l'objet d'une étude spéciale dans cet ouvrage, où nous essayerons de la traiter aussi complétement que possible, en nous entourant de tous les documents que la physique, la chimie et la physiologie pourront fournir. Fidèle au plan que nous nous sommes tracé, nous devons compléter ce qui concerne le dégagement de la chaleur, c'est-à-dire parler de la chaleur spécifique et de la mesure des températures, avant de traiter de l'action de la chaleur sur les corps, soit pour leur faire changer d'état, soit pour modifier leurs propriétés physiques ou leur arrangement moléculaire, soit pour les décomposer; cet examen du reste ne devant être fait que lorsque l'on traitera de l'action des forces sur les corps.

Dans l'étude du dégagement de la chaleur, il a été fait souvent mention des quantités différentes de cet agent que les corps absorbent ou émettent, quand leur température s'élève ou s'abaisse d'un nombre égal de degrés. Ces quantités, prises en considération dans un grand

nombre de questions relatives à la chaleur, expriment la chaleur spécifique, ou capacité calorifique des corps.

Nous allons rechercher si ces capacités ne seraient pas soumises à des lois dépendantes, soit de la constitution atomique, soit du poids atomique des corps, sans entrer cependant dans des détails d'appareils et d'expériences, qui ne sauraient trouver place ici, notre but étant de nous attacher aux lois générales des phénomènes et à leur application à l'étude de la chimie et des sciences naturelles. Pour mettre de l'ordre dans notre exposé, nous commencerons par étudier les capacités calorifiques dans les corps simples et composés, solides et liquides, puis dans les corps simples et composés gazeux.

Trois méthodes présentant chacune des avantages et des inconvénients, ont été successivement employées par d'habiles physiciens, pour déterminer la capacité calorifique des corps. Chaque expérimentateur a choisi la méthode qui convenait le mieux à ses vues et aux circonstances dans lesquelles il opérait. Ces trois méthodes, sont, sans nous astreindre à suivre l'ordre chronologique,

1° Méthode par la fusion de la glace ou du calorimètre.

2° Méthode du refroidissement.

3° Méthode des mélanges.

La première, due à Lavoisier et Laplace, repose sur la propriété que possède la glace de conserver une température égale pendant tout le temps de sa fusion. Si donc on veut évaluer la quantité de chaleur perdue par un corps, en descendant d'une certaine température à zéro, il faut le placer dans l'intérieur d'une sphère creuse de glace, et recueillir l'eau provenant de sa fusion; le poids de cette eau sert à représenter la chaleur que le corps a perdue en se refroidissant jusqu'à zéro. Le calorimètre imaginé par ces deux hommes célèbres réalise complétement cette sphère de glace.

Pour comparer les capacités calorifiques des corps, il suffit de connaître leur poids, leur température initiale et la quantité de glace fondue par chacun d'eux. En effet,

Soit c la capacité calorifique de ce corps, t sa température initiale, et q la quantité de glace fondue à l'instant de son minimum, p, le poids du corps;

$$\frac{q}{tp}$$

exprimera la quantité de glace fondue par l'unité de poids pour un refroidissement de 1°, la chaleur dégagée étant sensiblement proportionnelle à son refroidissement et à son poids. On aura pour un autre

corps $\frac{q'}{t'p'}$, q', t', p' exprimant des quantités analogues à q, t, p; le rapport de $\frac{q}{tp}$ à $\frac{q'}{t'p'}$ sera celui des chaleurs spécifiques des deux corps, ou de $\frac{c}{c'}$.

S'agit-il d'une substance liquide, il faut de plus connaître le poids et la chaleur spécifique du vase qui la renferme. Si l'on veut avoir la chaleur spécifique d'un corps solide ou liquide, en fonction de celle de l'eau, on la divise par 0,1333; car un kilog. d'eau à 75°, fond, en se refroidissant jusqu'à zéro, un kilog. de glace; dès lors, la quantité de glace fondue pour un refroidissement de 1° est égale à $\frac{1}{75}$, ou 0,1333.

L'emploi du calorimètre de Lavoisier et Laplace ne donne des résultats exacts qu'autant que la température extérieure est très-peu différente de zéro, et que les corps n'ont pas de trop petites dimensions. Mais avec cette méthode, on a toujours à craindre qu'il ne reste à la surface de la glace une petite quantité d'eau dont on ne puisse tenir compte dans le calcul.

La deuxième méthode, celle du refroidissement, telle qu'elle a été perfectionnée par Dulong et Petit, permet, il est vrai, d'opérer sur de très-petites quantités de matière, à l'état pulvérulent ou liquide; mais elle a l'inconvénient de reposer sur des hypothèses que quelques physiciens ne regardent pas comme démontrées. Cette méthode consiste à mettre la substance en poudre fine dans un petit vase en argent, à minces parois, ayant sa surface extérieure bien polie et sa surface intérieure recouverte de noir de fumée, afin que son pouvoir absorbant soit le plus grand possible. Un thermomètre très-sensible, dont la boule est placée dans l'intérieur du cylindre, et dont la tige sort par une ouverture pratiquée dans un couvercle d'argent poli et fermant le vase, indique les changements de température. La substance étant bien tassée, on élève la température de l'appareil de 30 à 40°, et on le place sous un récipient dans lequel on fait le vide, et dont on maintient constamment avec de la glace la température à zéro. On mesure ensuite très-exactement avec un chronomètre la vitesse du refroidissement, c'est-à-dire, le temps que le thermomètre met à descendre d'une différence constante de 10° à 5°, par exemple. Au moyen de deux observations, on détermine le rapport entre la chaleur spécifique de deux substances de poids connu mises successivement dans le vase. Il est facile de prouver, par le calcul, que le

temps que mettent deux corps, ayant une même température, à se refroidir d'un nombre égal de degrés, est en raison directe de leurs poids et de leurs capacités calorifiques. En effet,

Soient M et M′ les masses de deux corps, c et c' leurs chaleurs spécifiques, t et t' les temps que met le thermomètre à baisser d'un même nombre de degrés, de 10° à 5° par exemple. D'après la loi de Newton, qui peut être admise ici, quand les excès de température sont peu considérables, la vitesse du refroidissement sera proportionnelle à l'excès de température du corps sur celle du milieu ambiant.

Si la température de l'air est T, celle des corps T′, et la température, après le refroidissement, T″, on fait

$$T'-T=A,\ T''-T=B.$$

En appelant t le temps que le thermomètre met à descendre de l'excès A à celui B, on a, d'après la loi de Newton,

$$B=Ak^{-t},$$

d'où en faisant

$$\log.\ \text{hyp.}\ k=m,$$

on a

$$m=\frac{1}{t}\log.\ \text{hyp.}\ \frac{A}{B}.$$

Or, comme la vitesse du refroidissement est

$$V=-\frac{dB}{dt},$$

on aura

$$V=mA.$$

On a aussi

$$m=\frac{SH}{Mc},$$

S étant la surface du corps qui se refroidit, H la conductibilité extérieure; d'où

$$\frac{SH}{Mc}=\frac{1}{t}\log.\ \text{hyp.}\ \frac{A}{B}.$$

Pour une autre substance on aurait

$$\frac{SH}{M'c'}=\frac{1}{t'}\log.\ \text{hyp.}\ \frac{A}{B}.$$

D'où

$$\frac{Mc}{M'c'}=\frac{t}{t'},$$

équation de laquelle on peut tirer c' en fonction de c. Dans les expériences, il faut tenir compte de la masse du vase et de celle du thermomètre. La correction se fait comme il sera dit ci-après.

La troisième méthode, celle des mélanges, qui est beaucoup plus directe, imaginée par Mayer, a été récemment employée par M. Regnault, dans des recherches intéressantes sur la chaleur spécifique des corps simples et composés. Ce jeune physicien a apporté à cette méthode des perfectionnements résultant des découvertes modernes. Néanmoins, malgré les avantages qu'elle présente, elle exige les plus grandes précautions, si l'on veut avoir une confiance entière dans les résultats, surtout quand on opère sur des corps mauvais conducteurs et qui ne peuvent être obtenus qu'à l'état de poussière très-fine.

Cette méthode consiste à plonger dans un liquide, dont la température et le poids sont connus, un corps sans action sur ce liquide et dont on connaît également la température et le poids, puis à observer la température du mélange, qui dépend non-seulement du poids et de la température de ces corps, mais encore de leurs capacités calorifiques; on peut établir une relation telle entre ces quatre quantités, que trois d'entre elles étant connues, la quatrième s'en déduit.

Soient p et p' les poids du liquide et du corps, t et t' leur température initiale, c et c' leurs capacités calorifiques, rapportées à l'unité de poids et à l'unité de température; T, la température du mélange. Si le liquide dont le poids est p et la température initiale t plus grande que T par supposition, prend la température T par l'effet du mélange, il est évident que le nombre d'unités qu'il perdra sera égal à $p\,c\,(t-\mathrm{T})$, et le nombre d'unités de chaleur gagnée par le corps, sera égal à

$$p'\,c'\,(\mathrm{T}-t')\,;$$

d'où l'on conclut

$$p\,c\,(t-\mathrm{T})=p'\,c'\,(\mathrm{T}-t'),$$

puisque l'un ne peut gagner que ce que l'autre perd. De cette équation, on tire la valeur de c' en fonction de c.

Cette méthode, très-simple en elle-même, exige cependant des corrections et des précautions assez minutieuses dans ses applications; les corrections sont relatives à la chaleur absorbée par le vase où s'opère le mélange, et au refroidissement produit pendant qu'il s'effectue. On a égard, de la manière suivante, à la chaleur absorbée.

Désignons le poids du vase par p'', sa chaleur spécifique par c'';

supposons que sa température initiale soit égale à t', c'est-à-dire, égale à celle du deuxième corps, on aura

$$pc\,(t-\mathrm{T})=p'c'(\mathrm{T}-t')+p''c''(\mathrm{T}-t')=(\mathrm{T}-t')\left\{p'c'+p''c''\right\}$$

équation dans laquelle tout est censé connu, à l'exception de c, c' et c''.

Si l'on tient compte de la chaleur absorbée par le thermomètre, on aura, en représentant par p''' sa masse et c''' sa chaleur spécifique,

$$pc\,(t-\mathrm{T})=p'c'(\mathrm{T}-t')+p''c''(\mathrm{T}-t')+p'''c'''(\mathrm{T}-t')$$
$$\text{ou } pc\,(t-\mathrm{T})=(\mathrm{T}-t')\left\{p'c'+p''c''+p'''c'''\right\}.$$

Dans cette équation il y a quatre inconnues c, c', c'', c'''; si l'on veut déterminer $\frac{c'}{c}$, on y parvient de la manière suivante : on plonge dans l'eau, au lieu d'un corps quelconque, un corps de même nature que le vase ; puis dans une autre expérience un corps de même nature que le thermomètre : on a alors trois équations, d'abord la précédente, puis les deux équations suivantes :

$$pc\,(t-\mathrm{T})=(\mathrm{T}_1-t')\left\{p_1'c''+p''c''+p'''c'''\right\}$$
$$pc\,(t-\mathrm{T})=(\mathrm{T}_2-t')\left\{p_2'c'''+p''c''+p'''c'''\right\}.$$

Dans ces deux équations c' n'entrant plus, on peut déterminer $\frac{c''}{c}$ et $\frac{c'''}{c}$. Mettant ces valeurs dans la première, on a $\frac{c'}{c}$, expression cherchée.

Pour diminuer autant que possible les effets du refroidissement, on s'arrange pour que la température du mélange diffère peu de celle de l'air. Nous renvoyons du reste, pour plus amples développements, au Mémoire de M. Regnault (*Ann. de Physiq. et de Chimie*, 2e série, t. 73), dans lequel on trouvera tous les détails relatifs à la description de l'appareil qu'il a employé, à son mode d'expérimentation et aux calculs à exécuter pour arriver à la détermination des capacités calorifiques.

De la chaleur spécifique des corps simples, solides et liquides.

Nous devons commencer par prouver que la chaleur spécifique d'un corps n'est pas la même à toutes les températures, afin de faire sentir de suite la nécessité d'expérimenter entre certaines limites de température, si l'on veut avoir des résultats comparables. Ce fait est

mis en évidence par les expériences de Dulong et Petit, dont voici les résultats. (*Journal de l'École polytechnique*, tom. II.)

	CAPACITÉ moyenne entre 0° et 100°.	CAPACITÉ moyenne entre 0° et 300°.
Fer	0,1098	0,1218
Mercure	0,0330	0,0350
Zinc	0,0927	0,1015
Antimoine	0,0507	0,0549
Argent	0,0557	0,0611
Cuivre	0,0949	0,1013
Platine	0,0335	0,0355
Verre	0,177	0,190

Les nombres correspondants dans les deux colonnes prouvent bien que la chaleur spécifique des corps augmente avec la température; par conséquent pour comparer ensemble les chaleurs spécifiques de différents corps, il faut, autant que possible, prendre ces corps au même point de leur échelle thermométrique. En comparant les chaleurs spécifiques avec les poids atomiques correspondants, Dulong et Petit ont été conduits à une loi très-remarquable, dont voici l'énoncé : *Les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur.* Cette loi est mise en évidence dans le tableau suivant, où l'on voit que le produit du poids de chaque atome, par la capacité calorifique du corps auquel il appartient, est un nombre à peu près constant, les différences étant attribuées aux erreurs des expériences.

	CHALEURS spécifiques.	POIDS atomiques.	PRODUIT des poids de chaque atome par les capacités correspondantes.
Bismuth	0,0288	1330	38,30
Plomb	0,0293	1295	37,94
Or	0,0298	1343	37,04
Platine	0,0314	1116	37,40
Étain	0,0514	735	37,79
Argent	0,0557	675	37,59
Zinc	0,0927	403	37,36
Tellure	0,0912	403	36,75
Cuivre	0,0949	395,7	37,55
Nickel	0,1035	369	38,19
Fer	0,1100	339,2	37,31
Cobalt	0,1498	246	36,85
Soufre	0,1880	201,1	37,80

Il est facile de conclure de l'égalité des nombres consignés dans la dernière colonne que les atomes ont la même capacité calorifique. En effet,

Soient C et C′ les capacités calorifiques de deux corps; c et c' celles de leurs atomes, p et p' les poids de ces atomes, et n et n' leur nombre sous le même poids. On a d'abord :

$$Cp = C'p'.$$

Mais comme $C = nc$, $C' = n'c'$,
on en déduit :

$$pnc = p'n'c'.$$

Mais comme, par supposition,

$$pn = p'n',$$

on en déduit $c = c'$, ou l'égalité des chaleurs spécifiques des atomes. Cette égalité n'existe néanmoins qu'à deux conditions : la première, que le produit du poids de chaque atome par la capacité correspondante soit un nombre constant; la deuxième, que les nombres adoptés pour les poids atomiques soient précisément ceux choisis par Dulong et Petit.

A l'époque où ces deux physiciens firent leurs expériences, il y avait

encore incertitude sur le choix à faire entre plusieurs nombres pour le poids atomique de plusieurs corps; ils prirent naturellement ceux qui s'accordaient avec la loi, persuadés qu'ils étaient de son exactitude; mais aujourd'hui que les chimistes sont fixés sur la véritable valeur du poids atomique de plusieurs corps, l'incertitude cesse, et le choix n'est plus possible. Si l'on compose un nouveau tableau avec les poids atomiques définitivement adoptés, on trouve que la loi présente des anomalies qui semblent lui ôter de sa généralité.

CORPS.	CHALEURS spécifiques.	POIDS atomiques admis aujourd'hui.	PRODUIT des poids de chaque atome par la capacité correspondante.
Bismuth	0,0288	887	25,53
Plomb	0,0293	1295	37,94
Or	0,0298	1243	37,04
Platine	0,0314	1233	38,72
Étain	0,0514	735	37,99
Argent	0,0557	1351	75,18
Zinc	0,0927	403	37,36
Tellure	0,0912	806	73,50
Cuivre	0,0949	395,7	37,55
Nickel	0,1035	369	38,19
Fer	0,1100	339,2	37,31
Cobalt	0,1498	369	55,28
Soufre	0,1880	201,1	37,80

Les nombres consignés dans la dernière colonne, et qui représentent les produits de chaque poids atomique par la capacité correspondante, présentent à la vérité de grands désaccords. Mais, voulant en connaître la cause, M. Regnault a cherché si la loi de Dulong et Petit ne se vérifierait pas en général entre certaines limites. Il a déterminé à cet effet, avec le plus grand soin, la chaleur spécifique d'un grand nombre de corps simples et composés. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus, mis en regard de ceux de Dulong et Petit, des poids atomiques de M. Berzélius, et de ceux adoptés par M. Regnault. Cette disposition permet de comparer facilement ces deux séries de résultats, et d'en déduire les conséquences.

TABLEAU DES CHALEURS SPÉCIFIQUES.

NOMS DES SUBSTANCES.	MOYENNE de plusieurs expériences	CHALEURS spécifiques trouvées par Dulong et Petit.	POIDS atomiques de M. Berzélius.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT du poids atomique par la chaleur spécifique correspondante.
Ire PARTIE. — *Déterminations préliminaires.*					
Laiton	0,09391	»	»	»	»
Verre	0,19768	»	»	»	»
Eau	1,0080	»	»	»	»
Essence de térébenthine	0,42593	»	»	»	»
IIe PARTIE. — *Corps simples solides. Division A.*					
Fer	0,11379	0,1100	339,21	339,21	38,597
Zinc	0,09555	0,0927	403,23	403,23	38,526
Cuivre	0,09515	0,0949	395,70	395,70	37,849
Cadmium	0,05669	»	696,77	696,77	39,502
Argent	0,05701	0,0557	1351,61	675,80	38,527
Arsenic	0,08140	0,081 Av.	470,04	470,04	38,261
Plomb	0,03140	0,0293	1294,50	1294,50	40,647
Bismuth	0,03084	0,0288	886,92	1330,37	45.034
Antimoine	0,05077	0,0507	806,45	806,45	40,944
Étain des Indes	0,05623	0,0514	735,29	735,29	41,345
Étain anglais	»	0,5695	»	»	»
Nickel par l'oxalate	0,10863	0,1035	369,68	369,68	40,160
Cobalt par l'oxalate	0,10696	0,1498	368,99	368,99	39,468
Platine laminé	0,03243	0,0314	1233,50	1233,50	39.993
Palladium	0,05927	»	665,90	665,90	39,468
Or	0,03244	0,0298	1243,01	1243,01	40,328
Soufre	0,20259	0,1880	201,17	201,17	40,754
Sélénium	0,0837	»	494,58	494,58	41,403
Tellure	0,05155	0,0912	801,76	801,76	41,549
Iode	0,05412	0,089 Av.	789,75	789,75	42,703
Division B.					
Urane	0,06196	»	2711,36	677,84	41,960
Tungstène	0,03636	»	1183,00	1183,00	43,002
Molybdène	0,07218	»	598,52	598,52	43,163
Nickel carburé non fondu	0,11192	»	»	369,68	41,376

NOMS DES SUBSTANCES.	MOYENNE.	CHALEURS spécifiques trouvées par Dulong et Petit.	POIDS atomiques de M. Berzélius.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUIT du poids atomique par la chaleur spécifique correspondante.
Division B. (Suite.)					
Nickel, plus carburé, fondu dans le brasque	0,11631	»	»	369,68	42,999
Cobalt plus carburé, fondu dans le brasque	0,11712	»	»	368,99	43,217
Acier Hausmann	0,11848	»	»	339,21	40,172
Fine-metal	0,12728	»	»	339,21	»
Fonte de fer blanche de Bourgogne	0,12983	»	»	339,21	44,038
Charbon	0,24111	0,25 Av.	76,44	152,88	36,873
Phosphore de 10° à 30°	0,1887	0,385 Av.	196,14	196,14	37,024
Phosphore de 0° à 100°, avec chaleur de fusion comparée.	0,25250 0,25034	»	»	»	»
Division C.					
Iridium impur	0,3683	»	1233,50	1233,50	45,488
Manganèse très-carburé	0,14411	»	345,89	345,89	49,848
IIIe PARTIE. — *Substance simple liquide.*					
Mercure	0,03332	0,0330	1265,82	1265,82	42,149

Ces tableaux sont divisés en trois parties. La première comprend la chaleur spécifique des substances dont la connaissance était nécessaire pour les calculs. La deuxième, les corps simples solides partagés en trois divisions A, B, C. La division A comprend les corps simples purs dont la chaleur spécifique est exacte. La division B renferme les métaux qui, ayant été réduits dans un creuset brasqué, sont un peu carburés. Les nombres, quoique un peu trop forts, peuvent être diminués, de manière à pouvoir être appliqués aux métaux purs. La chaleur spécifique du carbone et celle du phosphore s'y trouvent également; mais les nombres qui représentent celles-ci ne sont pas définitifs. Dans la division C, se trouvent deux corps simples renfermant une quantité notable de matières étrangères, le manganèse et l'iridium; aussi leurs chaleurs spécifiques n'ont-elles été déterminées qu'approximativement. La troisième partie comprend seulement le mercure.

Les nombres consignés dans les deuxième et troisième colonnes, montrent que les résultats de M. Regnault sont en général un peu plus forts que ceux de Dulong et Petit. Cette différence paraît provenir du mode d'échauffement adopté par ces derniers, et d'après lequel les corps n'avaient pas précisément la température qu'on leur avait communiquée à l'instant où on les plongeait dans le vase réfrigérant. Les plus grandes différences sont relatives au cobalt et au tellure; M. Regnault les attribue aux incertitudes mêmes de la méthode employée par Dulong et Petit. Nous allons indiquer maintenant dans quelles limites on peut adopter la loi relative à la chaleur spécifique des atomes. On a vu que cette loi ne pouvait se vérifier qu'autant que les nombres consignés dans la dernière colonne étaient égaux. Or ils sont loin de l'être, puisqu'ils varient de 38 à 42, c'est-à-dire, dans des limites en dehors des erreurs commises dans les observations. Cette loi ne saurait donc être admise d'une manière absolue; mais si l'on réfléchit qu'en même temps que les produits du poids atomique par la chaleur spécifique correspondante varient de 38 à 42, les poids atomiques varient eux-mêmes de 200 à 1400, on est porté à admettre que la loi approche de la vérité, et qu'elle a lieu probablement pour chaque corps, au même point de l'échelle thermométrique ou à la limite, c'est-à-dire, au point où la force de cohésion est sensiblement nulle.

La chaleur spécifique d'un même corps varie sensiblement quand la densité éprouve une variation du même ordre; ainsi le cuivre rouge bien malléable a donné pour chaleur spécifique 0,09478; après avoir été battu à froid, il n'a plus donné que 0,09346; et après l'avoir fait recuire, on a retrouvé les premières déterminations. Le plomb et l'étain, n'éprouvant aucune variation dans leur densité, on n'en a pas trouvé non plus dans leur chaleur spécifique, en les martelant.

Il serait d'autant plus important de trouver dans quelle circonstance la loi de la chaleur spécifique des atomes se vérifie, qu'on aurait alors un moyen très-précis pour fixer la valeur des poids atomiques des substances simples dont les caractères chimiques ne sont pas assez tranchés pour fixer le choix des chimistes entre plusieurs nombres présentant le même degré de probabilité.

De la chaleur spécifique des corps composés.

On a fait jusqu'ici beaucoup de recherches sur la chaleur spécifique des corps composés, dans l'espoir d'établir une loi semblable à celle qui régit la chaleur spécifique des corps simples.

Parmi les physiciens qui se sont occupés de cette question, nous citerons d'abord M. Neumann, qui, en comparant les nombres obtenus sur quelques carbonates et un des sulfates formés par des oxydes à un seul atome d'oxygène, a cherché à montrer que dans chacune de ces classes de sels, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques; il a voulu étendre aussi cette loi à d'autres composés; mais comme les résultats obtenus par lui sont peu nombreux, et que plusieurs d'entre eux s'écartent beaucoup des résultats calculés, il n'est guère possible d'admettre comme démontrée la relation indiquée.

La question en était là lorsque M. Regnault la reprit en employant les mêmes moyens d'expérimentation qui lui avaient servi pour les corps simples. Les corps qu'il a soumis à l'expérience sont les alliages métalliques, les oxydes, les sulfures, les chlorures, bromures, iodures, enfin, les sels formés par la combinaison des oxydes avec les oxacides. On trouvera dans le tableau suivant les résultats obtenus.

TABLEAU DES CHALEURS SPÉCIFIQUES DES CORPS COMPOSÉS.

NOMS DES SUBSTANCES.	MOYENNE.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.	CHALEURS spécifiques calculées.
PREMIÈRE SECTION. — *Alliages métalliques.*				
Division A.				
1 atome plomb, 1 atome étain..	0,04073	1014,9	41,34	0,04039
1 at. plomb, 2 at. étain.....	0,04506	921,7	41,53	0,04461
1 at. plomb, 1 at. antimoine....	0,03880	1050,5	40,76	0,03883
1 at. bismuth, 1 at. étain.....	0,04000	1032,8	41,31	0,03987
1 at. bismuth, 2 at. étain.....	0,04504	933,7	42,05	0,04415
1 at. bism., 2 at ét., 1 at. antim.	0,04621	901,8	41,67	0,04564
1 at. bism., 2 at. ét., 1 at. ant., 2 at. zinc.....	0,05657	735,6	41,61	0,05479
Division B.				
1 at. pl., 2 at. ét., 1 at. bismuth.	0,04476	1023,9	45,83	0,04012
1 at. pl., 2 at. ét., 2 at. bismuth.	0,06082	1085,2	66,00	0,03785
1 at. mercure, 1 at. étain.....	0,07294	1000,5	72,97	0,04172
1 at. mercure, 2 at. étain.....	0,06591	912,1	60,12	0,04563
1 at. mercure, 1 at. plomb.....	0,03827	1280,1	48,99	0,03234
DEUXIÈME SECTION. — *Oxydes.*				
A. *Oxydes* RO.				
Protoxyde de plomb en poudre.	0,05118	1394,5	71,34	
Id. fondu....	0,05089	1394,5	70,94	
Oxyde de mercure.....	0,05179	1365,8	70,74	
Protoxyde de manganèse.....	0,15701	445,9	70,01	
Oxyde de cuivre.....	0,14201	495,7	70,39	
Oxyde de nickel.....	0,16234	469,6	76,21	
Oxyde de nickel calciné à la forge.....	0,15885	469,6	74,60	
		moyenne.	72,03	
Magnésie.....	0,24394	258,4	63,03	
Oxyde de zinc.....	0,12480	503,2	62,77	
B. *Oxydes* R^2O^3.				
Peroxyde de fer (fer oligiste)...	0,16695	978,4	163,35	
Colcothar peu calciné....	0,17569	978,4	171,90	

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEUR spécifique moyenne.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Colcothar calciné une 2e fois.....	0,17167	678,4	168,00
» fortement calciné.....	0,16921	»	»
» » une 2e fois.	0,16814	978,4	164,44
Acide arsénieux.....	0,12786	1240,1	158,56
Oxyde de chrôme.....	0,17960	1003,6	180,01
Oxyde de bismuth.....	0,06053	2960,7	179,22
Oxyde d'antimoine.....	0,09009	1912,9	172,34
		moyenne.	169,73
Alumine (corindon).....	0,19762	642,4	126,87
» saphir.....	0,21732	642,4	139,61
C. *Oxydes* RO^2.			
Acide stannique.....	0,09326	935,3	87,23
Acide titanique (artificiel).....	0,17164	503,7	86,45
Acide titanique (rutile).....	0,17032	503,7	85,79
		moyenne.	86,49
Acide antimonieux.....	0,09535	1006,5	95,92
D. *Oxydes* RO^3.			
Acide tungstique.....	0,07983	1483,2	118,38
Acide molybdique.....	0,13240	898,5	118,96
Acide silicique.....	0,19132	577,5	110,48
Acide borique.....	0,23743	436,0	103,52
E. *Oxydes complexes.*			
Oxyde de fer magnétique.....	0,16780	1417,6	237,87
TROISIÈME SECTION. — *Sulfures.*			
A. *Sulfures* RS.			
Protosulfure de fer.....	0,13570	540,4	73,33
Sulfure de nickel.....	0,12813	570,8	73,15
Sulfure de cobalt.....	0,12512	570,0	71,34
Sulfure de zinc.....	0,12303	604,4	74,35
Sulfure de plomb.....	0,05086	1495,6	76,00
Sulfure de mercure.....	0,05117	1467,0	75,06
Protosulfure d'étain.....	0,08365	936,5	78,34
		moyenne.	74,51
B. *Sulfures* R^2S^3.			
Sulfure d'antimoine.....	0,08403	2216,4	186,21

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEUR spécifique moyenne.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Sulfure de bismuth.....	0,06002	3264,2	195,90
C. *Sulfures* R S^2.		moyenne.	191,06
Bisulfure de fer (pyrite).....	0,13009	741,6	96,45
Bisulfure d'étain.....	0,11932	1137,7	135,66
Sulfure de molybdène.....	0,12334	1001,0	123,46
D. *Sulfures* R^2S.		moyenne.	129,56
Sulfure de cuivre	0,12118	992,0	120,21
Sulfure d'argent.....	0,07460	1553,0	115,86
E. *Sulfure complexe.*			
Pyrite magnétique.....	0,16023	?	
QUATRIÈME SECTION. — *Chlorures, bromures, iodures, fluorures.*			
A. *Chlorures* R^2 Cl^2.			
Chlorure de sodium.....	0,21401	733,5	156,97
Chlorure de potassium.....	0,17295	932,5	161,19
Protochlorure de mercure.....	0,05205	2974,2	154,80
Protochlorure de cuivre.....	0,13827	1234,0	156,83
Chlorure d'argent.....	0,09109	1794,2	163,42
B. *Chlorures* RCl^2.		moyenne.	158,64
Chlorure de barium.....	0,08957	1299,5	116,44
Chlorure de strontium.....	0,11990	989,9	118,70
Chlorure de calcium.....	0,16420	698,6	114,72
Chlorure de magnésium.....	0,19460	601,0	118,54
Chlorure de plomb.....	0,06641	1737,1	115,35
Protochlorure de mercure.....	0,06889	1708,4	117,68
Chlorure de zinc.....	0,13618	845,8	115,21
Protochlorure d'étain.....	0,10161	1177,9	119,59
		moyenne.	117,03
Chlorure de manganèse.....	0,14255	788,5	112,51
C. *Chlorides volatils* RCl^4.			
Chloride d'étain.....	0,14759	1620,5	239,18
Chloride de titane.....	0,19145	1188,9	227,63
		moyenne.	233,40

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEUR spécifique moyenne.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
D. *Chlorides volatils* $R^2 Cl^6$.			
Chlorure d'arsenic.....	0,17604	2267,8	399,26
Chlorure de phosphore.....	0,20922	1720,1	359,86
A'. *Bromures* $R^2 Br^2$.		moyenne.	379,51
Bromure de potassium.....	0,11322	1468,2	166,21
Bromure d'argent.....	0,07391	2330,0	173,31
		moyenne.	169,76
Bromure de sodium.....	0,13842	1269,2	175,65
B'. *Bromures* RBr^2.			
Bromure de plomb.....	0,05326	2272,8	121,00
A''. *Iodures* $R^2 I^2$.			
Iodure de potassium.....	0,08191	2068,2	169,38
Iodure de sodium.....	0,08684	1869,2	162,30
Protoiodure de mercure.....	0,03949	4109,3	162,34
Iodure d'argent.....	0,06159	2929,9	180,45
Protoiodure de cuivre.....	0,06869	2369,7	162,81
B''. *Iodures* RI^2.		moyenne.	167,45
Iodure de plomb.....	0,04267	2872,8	122,54
Iodure de mercure.....	0,04197	2444,1	119,36
B'''. *Fluorures* RFl^3.		moyenne.	120,95
Fluorure de calcium.....	0,21456	»	»
Id. calciné.....	0,21492	489,8	105,31
CINQUIÈME SECTION. — *Sels*.			
A. *Nitrates* $Az^2O^5+R^2O$.			
Nitrate de potasse.....	0,23875	1266,9	302,49
Nitrate de soude.....	0,27821	1067,9	297,13
Nitrate d'argent.....	0,14352	2128,6	305,55
Nitrates Az^2O^5+RO.		moyenne.	301,72
Nitrate de baryte.	0,15228	1633,9	248,83
B. *Chlorates* $Cl^2O^5+R^2O$.			
Chlorate de potasse.....	0,20956	1532,4	321,04

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEUR spécifique moyenne.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
C. *Phosphates* $P^2O^5+2R^2O$.			
Pyrophosphates.			
Phosphate de potasse.....	0,19102	2072,1	395,79
Phosphate de soude.....	0,22833	1674,1	382,22
		moyenne.	389,01
Phosphate P^2O^5+2RO.			
Phosphate de plomb.....	0,08208	3681,3	302,14
Métaphosphate P^2O^5+RO.			
Métaphosphate de chaux.....	0,19923	1248,3	248,64
Phosphate P^2O^5+3RO.			
Phosphate de plomb.....	0,07982	4985,8	397,96
D. *Arséniates* $Ar^2O^5+R^2O$.			
Arséniate de potasse.....	0,15631	»	»
Arséniate de plomb Ar^2O^4+3PbO...	0,07280	5623,5	409,37
E. *Sulfates* SO^3+R^2O.			
Sulfate de potasse.....	0,19010	1091,1	207,40
Sulfate de soude.....	0,23115	892,1	206,21
		moyenne.	206,80
Sulfates SO^3+RO.			
Sulfate de baryte.....	0,11285	1458,1	164,54
Sulfate de strontiane.....	0,14279	1148,5	164,01
Sulfate de plomb.....	0,08723	1895,7	165,39
Sulfate de chaux.....	0,19656	857,2	168,49
Sulfate de magnésie.....	0,22159	759,5	168,30
F. *Chromates.*		moyenne.	166,15
Chromate de potasse.....	0,18505	1241,7	229,83
Bichromate de potasse.....	0,18937	1893,5	358,67
G. *Borates* $B^2O^6+R^2O$.			
Borate de potasse.....	0,21975	1461,9	321,27
Borate de soude.....	0,23823	1262,9	300,88
		moyenne.	311,07
Borates B^2O^6+RO.			
Borate de plomb.....	0,11409	2266,5	258,60
Borate de potasse.....	0,20478	1025,9	219,52
Borate de soude.....	0,25709	826,9	212,60
		moyenne.	216,06

NOMS DES SUBSTANCES.	CHALEUR spécifique moyenne.	POIDS atomiques adoptés.	PRODUITS des chaleurs spécifiques par les poids atomiques.
Borates BO^6+2RO.			
Borate de plomb.....	0,09046	1830,5	165,54
H. *Tungstates*.			
Wolfram.....	0,09780		»
I. *Silicates*.			
Zircon.....	0,14558	»	»
J. *Carbonates* CO^2+R^2O.			
Carbonate de potasse.....	0,21623	865,0	187,04
Carbonate de soude.....	0,27275	666,0	181,65
Carbonates CO^2+RO.		moyenne.	184,35
Carbonate de chaux, spath d'Islande.	0,20858	631,0	131,61
Arragonite	0,20850	631,0	131,56
Marbre saccharoïde blanc.....	0,21585	631,0	136,20
Marbre saccharoïde gris.....	0,20989	631,0	132,45
Craie blanche.	0,21485	631,0	135,57
Carbonate de baryte.	0,11038	1231,9	135,99
Carbonate de strontiane.....	0,14483	922,3	133,58
Carbonate de fer.....	0,19345	714,2	138,16
		moyenne.	134,40
Carbonate de plomb.....	0,08596	1669,5	143,55
Dolomie (1).....	0,21743	582,2	126,59

(1) La dolomie et le carbonate de plomb étaient impurs; la dolomie contenait des filets de pyrite; le carbonate de plomb dégageait encore de l'eau à la calcination.

Pour faciliter la discussion des résultats, ce tableau est divisé en cinq sections. La première contient les alliages métalliques divisés en deux séries, A et B. La section A se compose des alliages dont le point de fusion est bien au-dessus de 110°; pour tous ces alliages, le produit de la chaleur spécifique par le poids atomique moyen reste sensiblement constant. Les limites varient entre 40,76 et 42,05. Ce sont à peu près celles entre lesquelles se trouvent comprises les chaleurs spécifiques des métaux simples qui entrent dans la constitution

des alliages; on peut donc dire que, dans ce cas, la chaleur spécifique de ces derniers est exactement la moyenne des chaleurs spécifiques des métaux qui les composent.

La section B renferme les alliages qui fondent vers 100°, ou à quelques degrés au-dessus, et dans lesquels la loi présente de grandes divergences, que M. Regnault attribue à deux causes : 1° ces alliages sont très-rapprochés de leur point de fusion, à la limite supérieure de température, à partir de laquelle on prend la chaleur spécifique; par suite, la capacité trouvée est à son maximum; 2° ces alliages se ramollissent ou se désagrégent presque complétement en approchant de cette température; ils renferment donc déjà presque toute la chaleur latente qui leur est nécessaire pour opérer le passage de l'état solide à l'état liquide. On remarque en effet que c'est dans les alliages qui deviennent les plus mous à 100°, que l'on trouve les nombres les plus forts pour les produits des chaleurs spécifiques par les poids atomiques moyens. Par la même raison, dans la section B, on trouve des capacités calorifiques beaucoup plus grandes que celles qui satisfont à la loi régissant les chaleurs spécifiques des alliages de la première section; il est probable que les divergences seraient moins grandes si l'on déterminait leur chaleur spécifique entre 0° et 50°. Passons aux oxydes.

Dans la section A se trouvent les oxydes à un seul atome d'oxygène, les oxydes de plomb, de cuivre, de mercure, de manganèse, de cuivre, de nickel, dont les chaleurs spécifiques sont en raison inverse de leur poids atomique, puisque les produits de la chaleur spécifique par le poids atomique sont sensiblement égaux. Il est à remarquer que les oxydes de magnésium et de zinc, qui sont isomorphes, ont pour leur chaleur atomique des nombres à peu près égaux entre eux, mais très-différents de ceux trouvés avec les premiers oxydes de même formule, puisque les produits sont 63 et 72.

La section B renferme les oxydes de la formule R^2O^3, parmi lesquels il en est dont la chaleur atomique est beaucoup plus faible; c'est l'alumine à l'état de corindon et de saphir. Quant aux autres, leur chaleur spécifique varie dans le rapport de 8 à 9. Cette différence est du même ordre que celle trouvée pour les corps simples. Si l'on excepte l'alumine, la loi pour les oxydes R O s'applique aux oxydes R^2O^3. On trouve encore dans cette section, comme dans la précédente, deux oxydes isomorphes, les acides stannique et titanique dont les chaleurs spécifiques sont parfaitement égales.

La section D renferme les oxydes que l'on suppose contenir 3 atomes

d'oxygène, et parmi lesquels il y en a deux qui paraissent isomorphes, et qui ont même chaleur spécifique, les acides tungstique et molybdique.

On voit donc que les oxydes métalliques de même formule ne possèdent pas rigoureusement des chaleurs spécifiques en raison inverse du poids atomique. Mais cette loi s'applique dans les limites où elle se vérifie pour les corps simples. La magnésie et l'oxyde de zinc, d'une part, l'alumine à l'état de corindon, de l'autre, font exception; pour l'expliquer, il faut partir de ce principe, que la chaleur spécifique d'un corps varie avec son état d'agrégation et diminue à mesure que l'agrégation augmente, comme le colcotar, le carbone et le soufre en sont des exemples.

Pour les sulfures dont la formule est RS, la chaleur spécifique varie de 73 à 78, en exceptant cependant le sulfure de cobalt qui a donné 71,4, valeur trop faible. La loi à laquelle est soumise la chaleur spécifique des sulfures est la même que celle qui régit les oxydes. Quant aux sulfures R^2S^3 d'antimoine et de bismuth, les produits des capacités calorifiques par les poids atomiques sont égaux à 186 et 196, quantités qui diffèrent d'un dix-huitième. Les sulfures $R\,S^2$ donnent des chaleurs atomiques égales à un dixième près.

Dans la section D se trouvent les sulfures de cuivre et d'argent qui sont isomorphes. Aussi, leur chaleur spécifique est-elle sensiblement la même. La quatrième section nous montre que la loi énoncée s'applique aux chlorures, bromures et iodures de même formule, toujours dans les mêmes limites d'approximation.

La cinquième section comprend les nitrates, sulfates, borates, carbonates; la loi de la chaleur spécifique de ces sels est la même que pour les oxydes, bromures, sulfures, etc.; c'est-à-dire que dans tous les sels formés d'oxydes métalliques et d'oxacides, renfermant le même élément négatif et de constitution atomique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse des poids atomiques; le carbonate de chaux fait seul exception. En effet, le spath d'Islande et l'arragonite ont sensiblement les mêmes chaleurs spécifiques; mais il n'en est pas de même des autres variétés de chaux carbonatée. Le spath d'Islande a pour chaleur spécifique 0,20858, l'arragonite 0,20858, la craie 0,21485, nombre plus fort que les précédents. Un marbre saccharoïque blanc a donné 0,21585; le mode d'agrégation est ici la cause des différences observées.

En comparant les chlorures avec les bromures, les iodures, les nitrates avec les chlorates, de même composition chimique, on

trouve 71,9 pour la chaleur spécifique atomique des oxydes R O; 74,5 pour celle des sulfures R S : la différence entre ces deux nombres est peu considérable. Les oxydes $R^2 O^3$ ont donné 169,7, et les sulfures de même formule 191. La différence est plus forte, mais elle ne s'élève pas au-dessus du neuvième; elle est moins grande quand on ne considère que les oxydes dont on a les sulfures correspondants; ainsi, l'on a pour

L'oxyde d'antimoine	172,4
de bismuth	179,9
Le sulfure d'antimoine	186,2
de bismuth	195,9

Le produit du poids atomique de chaque sulfure par la capacité calorifique correspondante est toujours plus grand que celui fourni par les oxydes correspondants; tandis qu'avec les chlorures, bromures et iodures, la différence est peu de chose; on est donc conduit par là à la loi suivante : Dans les corps composés, de même composition atomique et de constitution chimique semblable, les chaleurs spécifiques sont en raison inverse du poids atomique. Mais cette loi ne se vérifie pas encore d'une manière absolue, et cela parce que la capacité calorifique d'un corps se compose de la chaleur spécifique proprement dite et de la chaleur qu'il absorbe à l'état de chaleur latente quand il augmente de volume; quoique le résultat donné par l'expérience soit complexe, comme la première est plus considérable que l'autre, celle-ci n'empêche pas d'apercevoir la loi générale. Nous avons encore une autre observation à faire. Les capacités ayant été déterminées entre les mêmes limites de température, limites qui occupent des positions très-diverses sur l'échelle thermométrique propre de chaque substance, ces capacités, disons-nous, ne sont donc pas rigoureusement comparables entre elles; si l'on eût voulu établir la comparaison, il aurait fallu les prendre aux températures auxquelles ces corps présentent la plus grande analogie dans leurs propriétés physiques et chimiques; il est probable que, dans ce cas, les différences auraient été assez faibles pour que la loi de Dulong et Petit se vérifiât.

En terminant, nous donnerons les résultats obtenus par M. Regnault sur le même corps, le carbone pris dans différents états, afin de bien montrer comment la chaleur spécifique d'un corps varie avec son état d'agrégation.

Noir animal	0,26085
Charbon de bois	0,24150

Coke du Cannelcoal	0,20307
Coke de la houille	0,20171
Charbon de l'anthracite du pays de Galles	0,20085
Charbon de l'anthracite de Philadelphie	0,20100
Graphite naturel	0,20187
Graphite des hauts fourneaux	0,19702
Graphite des cornues du gaz	0,20360
Diamant	0,14687

Le noir animal et le charbon de bois possèdent, comme on le voit, la plus forte chaleur spécifique, et le diamant la chaleur spécifique la plus faible. Le carbone ne satisfait donc pas à la loi générale qui lie les chaleurs spécifiques aux poids atomiques.

Jusqu'ici on n'a encore déterminé la chaleur spécifique que d'un petit nombre de substances organiques; cependant c'est là un des points de départ pour savoir de quelle manière la chaleur se produit dans les phénomènes de la vie. On trouvera dans le tableau ci-joint les déterminations relatives à quelques substances qui se trouvent dans les corps organisés, ou qui proviennent de leur décomposition.

NOMS DES SUBSTANCES.	CAPACITÉS.	EXPÉRIMENTATEURS.
Iode	0,089	Avogrado.
Carbone	0,250	Id.
Huile d'olive	0,309	Pavois et Lap.
Essence de térébenthine (0,87)	0,472	Despretz.
Éther sulfurique (0,71)	0,520	Id.
Alcool (0,79)	0,622	Id.
Bois divers de	0,500 à 0,650	Mayer.

De la chaleur spécifique des gaz.

Les gaz éprouvant dans leur volume de grands changements par de faibles variations de température, les physiciens ont dû étudier leurs capacités calorifiques sous deux points de vue différents : 1° en considérant la pression constante et laissant aux gaz la faculté de se dilater; 2° en maintenant le volume constant, la force élastique du gaz croissant avec la chaleur.

Les recherches sur la détermination des capacités calorifiques des gaz présentent des difficultés, et exigent par conséquent de grandes précautions, car ces capacités étant très-faibles, les moindres erreurs

dans les expériences faussent considérablemeut les conséquences qn'on en déduit.

Parml les physiciens qui se sont occupés de cette question, Laroche et Bérard sont les premiers qul aient expérimenté avec assez de soin pour que leurs résultats inspirassent de la confiance. Leur mémoire a été couronné à l'Académie des sciences, en 1813, et se trouve dans les *Annales de chimie*, tome 85, 1re série. Ils ont opéré par la méthode du refroidissement, de la manière suivante :

Un vase rempll d'eau, renfermant un serpentin, recevait successivement différents gaz à la même température, sous la même pression et arrivant avec la même vitesse. L'ean qui se trouvait à une température plus basse que le gaz s'échauffait jusqu'à ce que la perte qu'elle éprouvait par le rayonnement dans l'air compensât la chaleur qu'elle recevait du gaz. Par suite de ces échanges successifs, il y avait un instant où la température était stationnaire. En ce moment l'excès de la température du liquide snr celle de l'air était proportionnel à la capacité calorifique du gaz, en admettant, toutefois, que la température du gaz et celle de l'air ne différassent que de quelques degrés. En effet, soient c, c' les capacités calorifiques de deux gaz; v, v', leurs volumes s'écoulant pendant l'unité de temps ; T et T' les températures initiales ; θ et θ' les températures stationnaires, t et t' les températures de l'air : on conçoit que les quantités de chaleur perdues dans le même temps, lors des températures stationnaires, seront proportionnelles, d'après la loi de Newton, aux différences $(\theta - t)$, $(\theta' - t')$, c'est-à-dire qu'on aura

$$\frac{v'\,c'\,(T' - \theta')}{v\,c\,(T - \theta)} = \frac{\theta' - t'}{\theta - t}.$$

Or, sl l'on suppose la température initiale égale, on aura $T' = T$, d'où

$$\frac{v'\,c'\,(T' - \theta')}{v\,c\,(T - \theta)} = \frac{\theta' - t'}{\theta - t},$$

équatlon de laquelle on tire le rapport $\frac{c'}{c}$.

Cette méthode ne peut servir qu'à déterminer la capacité calorifique d'un gaz en fonction de celle d'un autre; mais comme il est nécessaire de la rapporter à celle de l'eau ou d'un autre corps, Laroche et Bérard ont employé deux méthodes pour mesurer comparativement la chaleur spécifique de l'eau et d'un gaz.

La 1re consiste à faire passer un courant d'eau chaude dans le serpentin, de manière à produire, à peu près, les mêmes effets qu'un gaz; la 2e, à déterminer par le calcul la quantité de chaleur perdue par le calorimètre: quand la température est stationnaire, le calcul est très-simple.

Soient M la masse de l'eau et celle du calorimètre transformée en eau, V la vitesse du refroidissement; la quantité de chaleur perdue sera représentée par MV.

Or, comme les excès de température sont peu considérables, on peut admettre la loi de Newton; dès lors on a

$$V = m\,A\,,\ m = \frac{1}{t}\,\text{log. hyp.}\,\frac{A}{B}\,,$$

$$\text{d'où } V = A\,\frac{1}{t}\,\text{log. hyp.}\,\frac{A}{B}\,.$$

A est l'excès de la température stationnaire sur celle du milieu ambiant, B la différence entre la température du calorimètre qui s'est refroidi pendant un temps t, et celle du milieu ambiant.

Le calorimètre perd par minute $-\ MA\,\frac{1}{t}\,\text{log. hyp.}\,\frac{A}{B}$. S'il passe un volume N de gaz permanent, et que T et T′ soient les températures d'entrée et de sortie du gaz, on aura

$$N\,c\,(T - T') = M\,A\,\frac{1}{t}\,\text{log. hyp.}\,\frac{A}{B}\,;$$

de cette expression, on pourra avoir la valeur de c.

Ces deux physiciens ont pris, pour la température du gaz à son entrée dans le calorimètre, la moyenne entre la température de la vapeur et celle indiquée par un thermomètre placé dans le courant de gaz. Les résultats ont été rapportés à la pression de $0^m,76$, toutes choses égales d'ailleurs. La différence entre la température stationnaire du calorimètre et celle de l'air ambiant, moins 2°,5, qui est l'effet du tuyau servant à échauffer le gaz, étant pour

L'air	de 15°,734
L'hydrogène	14,214
L'acide carbonique	19,800
L'oxygène	15,365
L'oxyde d'azote	21,246
L'hydrogène bicarboné	24,435
L'oxyde de carbone	16,270

on a obteuu, pour la capacité calorifique de ces gaz, à volume et à poids égaux, les résultats consignés dans le tableau suivant.

Capacité calorifique de différents gaz sous une même pression.

NOMS DES GAZ.	LA CAPACITÉ CALORIFIQUE DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE ÉTANT PRISE POUR UNITÉ		LA CAPACITÉ CALORIFIQUE DE L'EAU ÉTANT PRISE POUR UNITÉ.
	à volumes égaux.	à poids égaux.	
Air atmosphérique.	1,0000	1,0000	0,2669
Hydrogène.....	0,9033	12,3401	0,2936
Acide carbonique..	1,2583	0,8280	0,2210
Oxygène.....	0,9765	0,8848	0,2361
Azote.....	1,0000	1,0318	0,2754
Oxyde d'azote.....	1,3503	0,8878	0,2369
Gaz oléfiant.....	1,5530	1,5763	0,4207
Oxyde de carbone..	1,0340	1,0805	0,2884
Vapeur d'eau.....	1,9600	3,1360	0,8470

En opérant par une autre méthode plus directe que la précédente, les résultats obtenus présentent peu de différence avec les premiers.

A l'inspection de ce tableau, on reconnaît que la loi de Dulong et Petit, relative à la chaleur spécifique des corps solides simples, s'applique également aux gaz simples, c'est-à-dire, que les atomes de ces derniers, toutes choses égales d'ailleurs, ont la même capacité calorifique; car il est facile de voir que les capacités calorifiques des gaz simples, à pression constante et à volumes égaux, sont les mêmes, comme l'hydrogène, l'oxygène et l'azote en sont une preuve. Dès lors, en admettant que tous les gaz, dans les mêmes conditions de température et de pression, contiennent, sous le même volume, le même nombre d'atomes, on en déduit la loi mentionnée.

Passons maintenant à la capacité calorifique des gaz sous un volume constant; question qui a déjà occupé plusieurs physiciens, et particulièrement Dulong, de La Rive et Marcet; ces derniers ont employé la méthode du refroidissement, qui, dans le cas actuel, n'est pas à l'abri de toute objection. En effet, la chaleur absorbée ou abandonnée par un même volume de gaz, renfermé dans la même enveloppe, sous la même pression, pendant un certain temps, n'étant qu'une très-petite fraction de celle perdue ou absorbée par le vase, il doit en résulter des mouvements dans la masse du gaz, de l'intérieur aux parois, ou des parois à l'intérieur, lesquels doivent apporter une perturbation dans

les résultats. C'est en raison de cette difficulté à laquelle il est bien difficile de parer, que l'on regarde la question de la détermination directe de la capacité calorifique à volume constant, comme bien difficile à résoudre ; mais on peut y arriver indirectement par le calcul, lorsque les capacités à pression constante sont connues, ainsi que le rapport des capacités calorifiques à pression et à volume constants. Une méthode a été employée à cet effet par M. Dulong (*Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. 41); elle repose sur la vitesse du son dans les gaz. Nous allons essayer d'en donner une idée. On a été conduit, par le calcul, à admettre que la vitesse du son dans l'air est égale à la vitesse théorique multipliée par la racine carrée du rapport de la capacité de l'air à pression constante, à la capacité à volume constant, et qu'il en était de même pour les autres gaz. Il résulte de là, que pour déterminer le rapport des deux capacités d'un gaz, il faut chercher la vitesse du son dans ce gaz. Pour cela, il suffit de faire résonner, dans le même tuyau, différents gaz, ayant la même vitesse et sous la même pression, et déterminer, avec une syrène, les sons produits ; les sons étant connus, on en déduit les vitesses. Si l'on représente par a la vitesse du son dans un gaz, par k le rapport des capacités calorifiques à pression et à volumes constants, par g le double de l'espace parcouru par un corps dans la première seconde de sa chute, par h la hauteur de la colonne de mercure qui fait équilibre à la pression du gaz, Δ la densité du mercure, D celle du gaz, t sa température, et α le coefficient de dilatation du gaz ou $\frac{1}{267}$, valeur trouvée par M. Gay-Lussac, on a la formule de Laplace.

$$a=\sqrt{gh\frac{\Delta}{D}(1+\alpha t)k}.$$

Les vitesses réelles et théoriques, pour l'air atmosphérique, sont données par les formules :

$$a=333\sqrt{(1+t.0{,}00375)} \text{ et } a=279{,}331\sqrt{1+t.\,0{,}00375}.\sqrt{\frac{c}{c'}};$$

$$\text{d'où l'on tire } \frac{c}{c'}=1{,}42.$$

Pour un gaz quelconque, on a en faisant $d=\frac{D}{\Delta}$

$$a=\sqrt{\frac{gh(1+t.0{,}00375)}{d}}\sqrt{\frac{c}{c'}}, \text{ ou } \frac{c}{c'}=\frac{a^2 d}{gh(1+t.0{,}00375)}.$$

Voici les résultats obtenus sur différents gaz par cette méthode.

NOMS DES GAZ.	VITESSE do son à 0°, d'après la formole de Newton.	VITESSE réelle du son à 0°.	RAPPORT des capacités calorifiques du gaz à pression constante et à volume constaot.	CHALEUR spécifique à volume constant, celle de l'air étant prise ponr nnité.
Air atmosphérique.	279,29	333,00	1,421	1,000
Gaz oxygène.....	266,00	317,17	1,415	1,000
Hydrogène.....	1064,80	1269,50	1,407	1,000
Acide carbonique.	226,24	261,60	1,338	1,249
Oxyde de carbooe.	283,00	337,40	1,427	1,000
Oxyde d'azote...	226,00	261,90	1,343	1,227
Gaz oléfiant.....	281,00	314,00	1,240	1,754

Les résultats consignés dans ce tableau nous montrent que les capacités calorifiques des gaz simples, à volumes constants, sont égales, de même que celles des gaz simples à pression constante. On peut remarquer encore, comme il est facile de le concevoir, que les nombres consignés dans la quatrième colonne sont plus grands que l'unité; la quantité de chaleur nécessaire pour produire une même élévation de température avec dilatation est plus grande en effet que celle qu'il faut employer pour arriver à la même température quand le volume ne change pas.

Des expériences ont été faites aussi par M. Avogrado sur la capacité calorifique des gaz composés, dans le but de savoir jusqu'à quel point elle était soumise à des lois semblables à celles qui régissent les capacités calorifiques des gaz simples; ce physicien a cru devoir tirer de ses expériences la loi dont voici l'énoncé :

« La chaleur spécifique des gaz composés, à volume égal, est exprimée par la racine carrée du nombre entier ou fractionnaire de volumes des gaz simples qui entrent dans la formation d'un volume de gaz composé, en prenant pour unité des chaleurs spécifiques celle d'un volume d'un des gaz simples. » Cette loi peut être énoncée d'une autre manière, en admettant la correspondance entre les volumes des corps gazeux, sous une même température et une même pression : « la chaleur spécifique d'un atome gazeux composé est exprimée par la racine carrée du nombre entier ou fractionnaire des atomes gazeux simples qui concourent à la formation. »

Les développements dans lesquels nous sommes entré, relativement à la chaleur spécifique des corps, sont bien évidemment du res-

sort de la physique générale; mais comme les résultats obtenus intéressent également la chimie, nous avons dû les rapporter tous comme preuve de l'importance de l'étude des chaleurs spécifiques dans les phénomènes moléculaires. Nous citerons à l'appui les faits suivants : les décompositions électro-chimiques s'opèrent en proportion définie, c'est-à-dire que la même quantité d'électricité décompose ou plutôt met en liberté des quantités atomiques égales de diverses substances, de sorte que si l'on soumet à l'action d'un courant des sels de plomb, de cuivre, d'étain, ce même courant mettra en liberté des quantités atomiques égales de plomb, de cuivre, etc.; de là résulte cette vérité, que les atomes sont associés à des quantités égales d'électricité; or, comme on reconnaît que les capacités calorifiques des atomes paraissent être égales quand on prend les corps aux mêmes points de leur échelle thermométrique, c'est-à-dire aux points où leurs propriétés physiques ont de grandes analogies, il en résulte que la capacité calorifique des particules élémentaires des corps suit la même loi que leur capacité électrique. Ce rapprochement doit être pris en considération en raison des rapports nombreux existant entre la chaleur et l'électricité, rapports qui tendent à faire dépendre l'une et l'autre d'un seul et même principe.

Mais si l'étude de la chaleur spécifique des corps doit faire partie de la chimie, elle n'intéresse pas moins la partie des sciences naturelles qui s'occupe de la production de la chaleur dans les phénomènes de la vie, production dépendante de la capacité calorifique des corps qui concourent à ce phénomène. Malheureusement cette question a encore peu attiré l'attention des physiologistes; nous en ferons sentir l'importance en traitant de la chaleur dans les corps organisés.

De la mesure des températures.

On est souvent dans la nécessité d'évaluer dans les corps les quantités de chaleur perdues ou gagnées dans le cours d'une expérience ou d'une observation, attendu que les propriétés physiques de ces corps éprouvent alors des changements tels qu'il n'est pas possible de reconnaître les lois auxquelles les phénomènes sont soumis. Cette détermination constitue la mesure des températures, dont on fait une étude spéciale en physique. Les instruments employés à cet effet sont les thermomètres, les pyromètres et les thermoscopes, dont on trouve la description et l'emploi dans tous les traités élémentaires. Il serait donc inutile d'entrer dans aucun détail à cet égard; cependant nous rappellerons les principes généraux sur lesquels repose leur construction,

parce qu'on doit les invoquer pour la confection de quelques appareils dont on a besoin dans la physique appliquée, et nous décrirons ensuite rapidement le thermomètre à air qui nous servira à les graduer.

On est dans l'usage de mesurer la température d'un corps au moyen de la dilatation d'un autre corps qui jouit de cette propriété, que pour des quantités égales de chaleur, acquises ou perdues, il se dilate ou se contracte de la même fraction de volume entre certaines limites de température. On prend ordinairement pour terme de comparaison ou degré de chaleur une fraction déterminée de l'accroissement que prend le volume du corps en passant de la température de la glace fondante qui est constante, à celle de l'ébullition de l'eau, qui est également invariable à la même pression atmosphérique. Cette fraction varie d'un corps à un autre, puisque les corps ne se dilatent pas tous de la même quantité, entre les mêmes limites.

On peut prendre pour corps thermométrique un solide, un liquide ou un gaz; le choix dépend de la nature des expériences et du degré d'exactitude que l'on veut obtenir dans les résultats. Dès que l'on eut avancé que les gaz se dilataient de la même manière, dans les mêmes circonstances, et que la capacité calorifique des gaz simples à volume et à pression constante était la même, on dut penser, et l'expérience est venue depuis confirmer cette conjecture, qu'il valait mieux se servir de ces corps que de tous autres pour mesurer les températures au moyen de la dilatation. Effectivement, en se servant du thermomètre à gaz, les lois des phénomènes de la chaleur se présentent d'une manière plus simple qu'en faisant usage des thermomètres métalliques. Ainsi, l'on est parti de ce principe que depuis les températures les plus basses jusqu'aux plus élevées, des changements de volumes égaux correspondent à des quantités égales de chaleur communiquée ou enlevée.

Après les gaz viennent les métaux sous le rapport de la régularité de la marche de leur dilatation, en y comprenant le mercure. Mais un gaz ou le mercure, lorsqu'on veut déterminer sa dilatation, doit être renfermé dans un vase quelconque qui participe aux mêmes effets de dilatation et de contraction. Si ce vase se dilate de la même quantité que le gaz ou le liquide, le volume apparent de chacun d'eux ne paraît pas changé; tandis qu'il est plus grand que le volume réel si la dilatation du vase est plus petite. On admet que la dilatation apparente est égale à la dilatation absolue, diminuée de la dilatation du vase; de sorte que celle-ci étant connue,

on a la dilatation absolue en ajoutant à la dilatation apparente celle du vase.

De même, on peut trouver la dilatation du vase, qui est ordinairement de verre, en déterminant par des moyens particuliers la dilatation absolue du gaz ou du liquide. Pour y arriver, Dulong et Petit ont opéré avec du mercure, au moyen d'un appareil très-simple dont on peut voir la description dans leurs Mémoires (ou bien dans le *Traité de physique* de M. Pouillet, 3e édit., tom. Ier, page 226). Il résulte d'expériences faites avec les plus grands soins que de zéro à 100° la dilatation absolue du mercure pour chaque degré est de $\frac{1}{5550}$ de son volume à zéro, qu'au-dessus de 100°, cette fraction de volume, à laquelle on a donné le nom de coefficient de dilatation, augmente quand on compare la marche du thermomètre à mercure à celle du thermomètre à air. Le thermomètre à air, en raison de la régularité de sa marche, qui n'a pu être vérifiée cependant pour des températures très-basses et très-élevées, doit être considéré comme le thermomètre étalon, non-seulement pour les appareils thermométriques ordinaires, mais encore pour ceux dont on fait usage spécialement dans la physique appliquée, et dont il sera parlé ultérieurement. C'est pour ce motif que nous allons entrer dans quelques détails sur la construction et l'emploi du thermomètre à air.

Cet instrument (fig. 1, pl. VII) se compose d'un tube capillaire, court, ouvert par un de ses bouts et terminé en boule de l'autre. Après avoir fait dessécher parfaitement l'intérieur, on y introduit une bulle de mercure. Vient-on à chauffer la boule, même très-faiblement, l'air qu'elle renferme se dilate, et la bulle de mercure est chassée; et si l'on connaît, d'une part, le rapport entre la capacité de la boule et celle du tube, et de l'autre, celle de la bulle, le chemin parcouru par celle-ci, on peut déterminer la quantité dont l'air s'est dilaté. En admettant que les dilatations soient proportionnelles aux quantités de chaleur transmises, on peut évaluer facilement la température de la source de chaleur. Le tube doit être, à cet effet, gradué en parties égales de capacité, relativement à celles du réservoir. On a reconnu que toutes les fois que la capacité de la boule est plus que trois fois celle du tube, la bulle de mercure sort à 100°, et rentre au contraire dans la boule quand la température est à zéro. Pour parer à cet inconvénient, on donne au thermomètre à air la disposition suivante. Le bout du tube capillaire est plongé dans un vase contenant du mercure qui s'élève à une certaine hauteur, dépendant de la capillarité du tube. La colonne de mercure descend ou monte dans le réservoir, suivant que l'on

chauffe ou que l'on refroidit la boule. Cet appareil, à la vérité, a moins de sensibilité que le précédent; mais aussi il n'a pas les inconvénients qui en restreignent l'emploi. An lieu de mercure, on peut employer un liquide coloré. On peut consulter les traités de physique ordinaires pour tout ce qui concerne la construction de ces appareils. Quand on veut s'en servir, on commence par placer l'index à l'origine des divisions, à l'aide d'un fil de platine, et l'on note le volume occupé par l'air, la température extérieure et la hauteur du baromètre, puis l'on plonge la boule dans le milieu dont on veut trouver la température, et l'on tient note du changement de volume. On a alors tous les éléments nécessaires pour avoir la température, en supposant toutefois que la dilatation de l'air soit constamment uniforme. Désignant le volume du gaz à zéro et à la pression h par v, le volume à t degrés sous la pression h' par v', le coefficient de dilatation du verre par k, il est bien évident que le volume v', corrigé de la variation de pression et de la dilatation du verre, aura pour expression

$$v'(1 + kt)\frac{h'}{h}$$

et sa dilatation

$$v'(1 + kt)\frac{h'}{h} - v.$$

Si l'on divise par v, on aura la dilatation correspondant à l'unité de volume, pour la pression h et la température t.

En suivant ce mode d'expérimentation, M. Gay-Lussac a trouvé que tous les gaz se dilatent également de 0 à 100°, et qu'entre ces deux limites leur coefficient de dilatation a pour valeur 0,375.

M. Rudberg, ayant repris cette question, a trouvé que ce coefficient était compris entre 0,364 et 0,365.

Enfin M. Regnault, il y a peu de temps, a assigné pour valeurs aux coefficients de dilatation de l'air et de différents gaz, les nombres suivants :

Air atmosphérique	0,3665
Azote	0,36682
Hydrogène	0,36678
Oxyde de carbone	0,36667
Acide carbonique	0,36896
Cyanogène	0,36821
Protoxyde d'azote	0,36763
Acide sulfureux	0,36696
Gaz acide chlorhydrique	0,36812

Ces résultats montrent que le coefficient de dilatation pour les gaz ci-dessus, dans les mêmes circonstances, varie depuis 0,3665 jusqu'à 0,3685, et tendent donc à démontrer que la loi de M. Gay-Lussac devrait subir une légère modification. Quant au coefficient de dilatation du verre, Dulong avait trouvé qu'il était égal à 0,00254. M. Regnault vient de faire des expériences pour le déterminer de nouveau, lesquelles l'ont conduit à cette conséquence, que la dilatation des diverses espèces de verre varie entre des limites très-étendues; de sorte que l'on est dans la nécessité de déterminer le coefficient de chaque verre avec lequel on construit des thermomètres. Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Verre blanc en tube.....	0,002648
Verre soufflé en boule.....	0,002592
Verre vert en tube.....	0,002292
Cristal ordinaire en tube.....	0,002101

Le premier usage que l'on a fait du thermomètre à air a été de comparer sa marche à celle du thermomètre à mercure, et de différents thermomètres métalliques.

Températures indiquées par un thermomètre à mercure, un thermomètre à air et différents thermomètres, dans les mêmes circonstances (MM. Dulong et Petit).

THERMOMÈTRE A MERCURE	THERMOMÈTRE A AIR corrigé de la dilatation du verre.	DIFFÉRENCES.
100°.....	.... 100.....	 0
150.....	.... 148,70.....	..... 1 30
200.....	.... 197,05.....	..... 2 95
250.....	.... 245,05.....	..... 4 95
300.....	.... 292,70.....	..... 7 30
360.....	.... 350.....	 10

Températures données par différents thermomètres pour une même source de chaleur.

Thermomètre à air.....	300
de verre.....	351,9
de fer.....	372,6
de cuivre.....	329
de platine.....	311,6
à mercure ordinaire...	307,8

Bien qu'on ne puisse savoir au juste lequel des thermomètres précédents exprime le plus exactement la température, c'est-à-dire le rapport entre les dilatations et les quantités de chaleur acquises, néanmoins, d'après ce qui a été dit précédemment, nous devons prendre pour termes de comparaison les résultats donnés par le thermomètre à air. Nous voyons d'abord que celui-ci et le thermomètre à mercure s'accordent parfaitement jusqu'à 100°; qu'au delà il n'en est plus de même; à 150° le thermomètre à mercure est en avance de 1°,30 sur l'autre; à 200°, l'avance est de 2°,95; à 250°, elle est de 4°,95, etc. Quant aux thermomètres métalliques, les différences sont beaucoup plus considérables.

La loi de dilatation étant la même pour les gaz chargés de vapeur que pour les gaz, il s'ensuit que les vapeurs se comportent comme les gaz.

L'application que nous allons faire du thermomètre à air est de l'employer à l'évaluation des plus hautes et des plus basses températures; question qui a occupé successivement Princeps et M. Pouillet.

Princeps s'est servi d'un thermomètre à air, d'une construction particulière, pour déterminer le point de fusion de plusieurs métaux, entre autres de l'argent. Cet appareil se composait d'une cornue d'or pur pouvant contenir 196 cent. cubes d'air, et à laquelle était adapté un tube d'or et un autre tube d'argent également pur, muni d'un robinet. Ce dernier tube communiquait avec un réservoir en verre, afin de ne pas donner trop de longueur au tube gradué qu'on y avait adapté. Le réservoir, presque rempli d'huile, était muni d'un tube de sûreté et d'une cucurbite destinée à recevoir l'air de la cornue quand il commençait à s'échapper. A ce récipient était adapté, au moyen d'un robinet, un tube gradué rempli d'une petite quantité d'huile servant à indiquer les dilatations de l'air contenu dans la cornue, et par suite les températures. Avec cet appareil, Princeps a obtenu les résultats suivants :

Chaleur rouge.....	649° centigr.
Orangé.....	809
Fusion de l'argent.....	999
Argent avec $\frac{1}{10}$ d'or.....	1048
Argent avec $\frac{1}{4}$ d'or.....	1122

M. Pouillet s'est servi d'un moyen à peu près semblable pour éva-

luer les hautes températures; son appareil se composait des parties suivantes :

1° Un réservoir de platine, d'une seule pièce, de forme ovoïde, qui est le réservoir de chauffe;

2° D'un tube de communication en platine, sur une longueur de 20 à 25 centimètres, perforé d'un petit trou d'un à deux millimètres de diamètre. Le reste du tube, qui est d'une longueur égale, peut être en argent;

3° D'un tube de verre divisé, destiné à recevoir, par son extrémité supérieure, l'air qui est chassé du réservoir de platine par la dilatation. Ce tube, semblable à un tube de baromètre, est placé verticalement à côté d'un autre tube pareil, ouvert par le haut; ils communiquent par leur partie inférieure; avant de commencer l'expérience, ils sont remplis l'un et l'autre de mercure; au fur et à mesure que la pression de l'air renfermé dans le pyromètre augmente, lorsque l'on chauffe, le mercure monte dans le second tube. Connaissant la capacité exacte du réservoir, celle du tube de communication et la quantité d'air primitivement contenue dans le tube divisé, à une température et sous une pression connues, on peut calculer la température du réservoir de platine. Au moyen de ce pyromètre, M. Pouillet a obtenu les résultats suivants :

Température.	Degrés du therm. à air.
Rouge naissant	535°.
Rouge sombre	700°.
Cerise naissant	800°.
Cerise	900°.
Cerise clair	1000°.
Orangé foncé	1100°.
Orangé clair	1200°.
Blanc	1300°.
Blanc éclatant	1400°.
Blanc éblouissant	1500°.

Les indications des nuances de la température rouge sont vagues, car tout le monde ne juge pas des couleurs de la même manière; mais une personne habituée, par des expériences réitérées, à comparer ces nuances, finit par les reconnaître sans trop s'écarter de la vérité.

Les phénomènes thermo-électriques, aujourd'hui bien connus, permettent d'employer, pour mesurer les températures les plus basses

et les plus élevées, deux appareils qui ont l'avantage sur tous les autres thermomètres d'accuser des changements instantanés de température, qui ne pouvaient pas être observés avant leur découverte; c'est principalement dans l'étude de la chaleur animale, où ces changements se manifestent quelquefois, qu'on est à même d'apprécier tout le parti que l'on peut tirer de l'emploi des appareils thermo-électriques, pour remonter à quelques-unes des causes qui concourent à la production de la chaleur dans les corps organisés. Mais avant d'exposer tout ce qui concerne la description et l'emploi de ces appareils en physiologie, indiquons la disposition qu'on leur a donnée pour mesurer les hautes températures. Les premières expériences ont été faites par nous sur les flammes, près de dix ans avant qu'on eût songé à appliquer notre procédé à la mesure des hautes températures; mais, pour ne pas interrompre l'ordre que nous avons adopté, nous allons décrire de suite l'appareil employé par M. Pouillet, lequel se compose d'un pyromètre thermo-électrique et d'une boussole électro-dynamique.

Ce pyromètre, fig. 2, pl. VII, est formé d'un tube de fer, ou plutôt d'un canon de fusil. Du milieu de la culasse *c* part un fil de platine qui est incorporé dans la masse de fer, traverse l'axe du canon pour venir se souder à la pièce de cuivre rouge *x*; de la culasse annulaire *d* part un second fil de platine qui vient se souder à la pièce de cuivre *y*. Le premier fil de platine est maintenu par un corps mauvais conducteur au milieu de la culasse annulaire *d*, pour qu'il ne puisse la toucher; *f* est une pièce de bois fixée sur le bout du tube, et destinée à porter les deux pièces de cuivre *x* et *y*. L'extrémité *a* du pyromètre est destinée à être placée dans le foyer de chaleur; on la recouvre d'un lut réfractaire, pour que le fer ne s'altère pas au feu. La communication est établie entre ce pyromètre et une boussole pyrométrique ou multiplicateur thermo-électrique, au moyen de deux fils de cuivre de 1 millimètre de diamètre environ, terminés par des douilles de cuivre qui viennent se planter d'une part dans les pièces *x* et *y*, et de l'autre dans les extrémités du ruban formant le circuit du multiplicateur, qui n'est autre que la boussole des sinus, dont nous avons donné la description, t. I de cet ouvrage, p. 384.

Au moyen d'une table construite préalablement, on connaît l'intensité du courant correspondant à une température évaluée en fonction des degrés d'un thermomètre à air. Ce thermomètre est un véritable pyromètre à air qui est placé le plus près possible de la

culasse, de sorte que lorsque celle-ci est exposée à une certaine température, la déviation de l'aiguille aimantée donne immédiatement la différence de température existant entre les deux jointures fer et platine; or, l'une d'elles se trouvant dans l'air, dont la température est connue, on a immédiatement celle du foyer de chaleur.

En comparant la marche du thermomètre à air à celle du multiplicateur, M. Pouillet a reconnu que l'intensité du courant n'est pas toujours proportionnelle à la température. Suivant lui, la force électro-magnétique moyenne correspondant à chaque degré, décroît depuis la température ordinaire jusqu'à celle du rouge naissant, ensuite elle augmente, pour reprendre à 1000° environ l'intensité qu'elle avait près de zéro, et elle continue à s'élever assez rapidement au delà de ce point. Nous ferons observer à cet égard que nous avons trouvé depuis longtemps que, dans un couple thermo-électrique dont le fer fait partie, la loi à laquelle est soumise l'intensité du courant est très-irrégulière. Au surplus, peu importe la loi que suivent les intensités, car une fois la table des températures et des intensités du courant établie, rien ne s'oppose à ce qu'on obtienne des mesures de température très-exactes. Nous rapportons ici les résultats obtenus par M. Pouillet.

Différence de température entre les deux soudures, l'une d'elles étant à la température de 15 ou 20°.	Intensité moyenne du courant pour 1 degré.
100	950
150	920
200	800
250	860
300	830
400	780
450	760
500	745
550	730
600	720
650	730
700	755
750	780
800	815

850	850
900	885
950	920
1000	955

En terminant ce que nous avons à dire sur l'évaluation des hautes températures, nous donnerons la détermination de la température de fusion de divers métaux ou alliages, obtenue par différentes méthodes, nous réservant d'y revenir ultérieurement.

Argent	1000
Or	1200
Fonte blanche très-fusible	1050
— peu fusible	1100
Fonte grise très-fusible	1100
— peu fusible	1200
Aciers les plus fusibles	1300
— moins fusibles	1400
Fer	1500 à 1600.

La température de fusion de l'argent est la même dans les expériences de M. Pouillet que dans celles de Princeps.

Il nous resterait encore à décrire le procédé qui nous a conduit à la détermination de la température des diverses parties d'une flamme; mais comme cette description ne saurait être séparée des résultats obtenus, nous n'en parlerons qu'en traitant des flammes.

Des instruments destinés à mesurer la température des mers, des lacs et de l'intérieur de la terre.

Les instruments que l'on descend à des profondeurs plus ou moins grandes dans les mers, les lacs ou la terre, pour en connaître la température, doivent être construits de telle sorte que les indications ne changent pas en les retirant, ou bien qu'elles puissent être connues immédiatement sans avoir besoin de déranger les appareils. Dans le premier cas, on emploie les thermomètres à maximum et à minimum et le thermo métrographe; dans le second, les appareils thermo-électriques. Nous décrirons les thermomètres à maximum et à minimum, tels qu'ils ont été disposés par M. Walferdin, parce qu'ils sont assez généralement employés.

Le thermomètre à maximum est tout simplement un thermomètre

ordinaire terminé à sa partie supérieure par une ampoule renversée servant de réservoir de déversement (fig. 3, pl. VII). Le tube du thermomètre se prolonge en pointe *b* dans ce réservoir. Admettons que cet instrument donne des indications de température jusqu'à 50°, et que l'on veuille observer une température maximum de 30 : on commence par incliner le thermomètre de manière que le mercure vienne toucher la pointe *b*, comme on le voit (fig. 4, pl. VII) ; on fait chauffer le réservoir du thermomètre et l'on refroidit ensuite au-dessous de la température que l'on doit observer, de manière à faire rentrer du mercure dans le réservoir ; puis on relève le thermomètre et on lui donne une petite secousse pour faire tomber dans le réservoir *a* la gouttelette qui termine la pointe *b*. On plonge ensuite le thermomètre dans un bain dont la température, par exemple, est de 25°. Une partie du mercure provenant de la dilatation se déversera dans la pointe ; alors on sera certain que l'instrument sera complétement plein à 25°. Ces dispositions faites, l'appareil est placé dans un étui, et on descend le tout dans le milieu dont on veut connaître la température que l'on suppose croissante au fur et à mesure que l'on s'enfonce : le mercure de la tige se déversera nécessairement dans *a*, jusqu'à ce que la température soit stationnaire. On donne alors une secousse pour faire tomber la bulle adhérente à la pointe (fig. 5), et l'on remonte l'instrument ; la colonne de mercure descendra nécessairement dans le tube ; on le retire de son étui, et on le plonge de nouveau dans le bain à 25°, mesurés avec le thermomètre étalon.

Supposons que la hauteur du mercure corresponde à 15° à partir de la pointe, il s'ensuit que la quantité de mercure déversée dans *a* correspondra à celle qui convenait pour faire monter le thermomètre de 15 à 25 ; dès lors la température cherchée serait de 25+10 ou 35°. On conçoit qu'au moyen de cet appareil on puisse avoir des indications très-exactes. Cet instrument a l'avantage, sur les anciens thermomètres à maximum, de pouvoir être tenu dans une position verticale.

Thermomètre à minimum, construit d'après les mêmes principes que le précédent.

Ce thermomètre, représenté fig. 6, pl. VII, est, de même que le précédent, un thermomètre ordinaire auquel on a fait les modifications suivantes :

Dans la partie inférieure de la tige se trouve un petit réservoir rempli d'alcool, dans lequel vient plonger la pointe isolée qui termine le tube; à la partie supérieure se trouve une ampoule renversée remplie d'alcool. Supposons que l'on veuille observer la température d'un lac qui soit de 4 à 5° dans sa partie la plus profonde; on refroidit d'abord l'appareil à zéro, et même au-dessous. On incline également, pour que le mercure vienne toucher la pointe (fig. 7). On chauffe ensuite pour forcer le mercure à monter dans la tige, de manière à ce que la quantité qui passe occupe une longueur de 10 à 15°. On redresse ensuite l'appareil et on le plonge dans un bain dont la température, mesurée avec un excellent thermomètre, est supérieure à 6°. Supposons cette température égale à 10°; on tient note de la hauteur du mercure; l'appareil est alors disposé pour l'expérience. Après l'avoir mis dans un étui, on le descend dans le lac; au fur et à mesure que la température baisse, le mercure tombe dans le réservoir inférieur jusqu'à ce que l'équilibre de température soit établi. Vient-on à remonter l'instrument, la dilatation soulève nécessairement la colonne de mercure, et on lit sur l'échelle le nombre de degrés correspondant. Ce nombre retranché de 10°, température du point de départ, donne le nombre de degrés dont la source est abaissée.

Du thermo métrographe (fig. 8, pl. VII).

Cet appareil se compose d'un réservoir *r* rempli d'alcool, d'un tube recourbé rempli de mercure et de deux petits cylindres de fer entourés de verre. L'alcool renfermé dans le réservoir remplit également les deux branches du tube jusqu'en *m*; la colonne de mercure occupe la partie inférieure et se relève jusqu'en *m'*; au-dessus de ce point se trouve encore une colonne d'alcool qui remplit en partie le réservoir *r'*; nous représentons ici, fig. 9, l'un de ces index, pour que l'on puisse bien connaître sa construction. L'enveloppe du cylindre est aplatie à l'extrémité par laquelle elle repose sur le mercure; on y adapte une boucle élastique en cheveux, qui, par la pression exercée contre la paroi du tube, retient l'index quand il flotte dans l'alcool. Dès que cet index est poussé par le mercure, l'élasticité du cheveu étant vaincue, l'index marche; c'est au moyen de cette addition très-simple qu'il chemine ou s'arrête, selon que le mercure le pousse ou l'abandonne. La partie intérieure, corps principal de la pièce, est en fer, afin d'avoir le moyen de faire descendre les index jusqu'au mercure à l'aide d'un aimant. La fig. 8 indique que l'in-

dex *b* est disposé pour donner les plus basses températures, et l'index *h* les plus hautes.

Ces appareils doivent être renfermés dans des étuis à parois assez résistantes pour ne pas être brisées par les fortes pressions qu'ils ont à supporter dans les mers profondes; ils doivent être fermés hermétiquement, dans la crainte que l'eau pénétrant, la pression extérieure ne soit transmise à l'intérieur par son intermédiaire, et ne brise l'instrument. Nous donnons ici, fig. 10, la figure d'un de ces étuis. Avant d'expérimenter, il faut avoir l'attention de remplir en grande partie l'étui d'eau, afin que l'équilibre de température puisse s'établir plus promptement.

Il ne reste plus qu'à décrire l'appareil thermo-électrique, dont l'avantage sur les précédents est d'indiquer les changements de température à l'instant même qu'ils sont produits dans les milieux où cet instrument est plongé. L'appareil se compose d'un fil de cuivre et d'un fil de fer soudés par un de leurs bouts, et en communication par les deux autres avec les deux extrémités du fil formant le circuit d'un multiplicateur électrique très-sensible. Le fil de fer ne doit pas dépasser 160 à 200 mètres en longueur, quand il n'a que 1 millimètre de diamètre, attendu que le fer est si mauvais conducteur, et le courant thermo-électrique résultant de la différence de température des deux soudures si peu intense, qu'on éprouve des difficultés à bien l'observer, quand les différences de température varient de 1 à 15°. Aussi ne doit-on pas dépasser ces dimensions, si l'on veut avoir des résultats sur l'exactitude desquels on puisse compter. Les deux fils doivent être étamés dans toute leur longueur, recouverts de soie et goudronnés, afin de les soustraire à l'action chimique de l'eau. Avec ces précautions, on est assuré que l'appareil n'accuse plus que des courants thermo-électriques, quand les deux soudures ne possèdent pas la même température.

Pour opérer facilement, le système des deux fils est enroulé sur une roue à gorge (fig. 11, pl. VII) traversée par un axe appuyé sur deux montants, et auquel on imprime un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle appliquée à l'extrémité.

L'appareil thermo-électrique peut être employé avec avantage lorsqu'il s'agit d'étudier les variations qu'éprouve la température de la terre à une profondeur trop grande pour y placer à poste fixe un thermomètre; dans le cas où elle n'excède pas une vingtaine de mètres, on obtient des fractions de degré. La meilleure méthode d'opérer est d'introduire une des soudures dans une cavité conve-

nablement pratiquée, que l'on remplit avec les substances retirées. L'autre soudure restant dans l'air, les déviations de l'aiguille aimantée indiquent nécessairement la différence qui existe entre la température de l'air et celle de la région où se trouve la seconde soudure; la température de l'air étant connue, on en déduit immédiatement, au moyen de la table des températures (*Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. II, p. 30), celle de la région intérieure.

Si l'on veut avoir la température d'un lac, on commence par attacher à la soudure un lest de nature quelconque du poids de plusieurs kilogrammes, afin de pouvoir descendre le système de fils dans l'eau. La déviation de l'aiguille aimantée accuse immédiatement l'abaissement de température, à mesure que l'on descend l'une des jonctions fer et cuivre. Cet instrument a l'avantage sur le thermomètre *à minimum*, d'accuser immédiatement la température du milieu inférieur, sans avoir à craindre des dérangements dans l'appareil.

Comme application, nous rapporterons les résultats que nous avons obtenus, conjointement avec M. Breschet, en mesurant la température du lac de Genève, à six mètres environ de l'escarpement d'un rocher sur lequel est construit le château de Chillon (le multiplicateur avait peu de sensibilité).

L'une des soudures se trouvant dans l'arsenal, dont la température était de 14°,80, l'autre a été successivement descendue à diverses profondeurs dans le lac. Des essais préalables avaient indiqué qu'un degré de déviation de l'aiguille aimantée correspondait à 1°,10 de température centigrade. On a obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

PROFONDEUR.	DÉVIATION.	TEMPÉRATURE CORRESPONDANTE.
104 mètres.....	.... 7,50 à gauche....	 6,50
80.....	.... 7,50.....	 6,50
60.....	.... 6,50.....	 7,60
40.....	.... 5.....	 9,00
20.....	.... 3.....	 12,30
à la surface.....	.... 4,50 à droite.....	 19,80

Ces résultats indiquent que la diminution de la température du lac, où affluent continuellement les eaux provenant de la fonte des neiges qui recouvrent les cimes des Alpes, ne suit pas une loi uni-

forme, et qu'à 104 mètres de profondeur la température est encore de 6,50, au lieu de 5,60 que Saussure avait trouvé, dans diverses parties du lac de Genève, de 70 à 100 mètres de profondeur et loin des bords. Remarquons que cette expérience a été faite à une distance peu considérable du rocher de Chillon, qui possède une température propre, laquelle doit échauffer nécessairement l'eau environnante.

Ce qui porte à croire que cette explication est fondée, c'est que Saussure observa dans le lac Majeur, situé sous un climat plus doux que le lac de Genève, recevant également les eaux provenant de la fonte des neiges, et qui a 128 mètres de profondeur, une température de 6,75 centigrades, la température de la surface de l'eau étant de 25°. Cet exemple prouve que l'influence des causes qui tendent à échauffer quelquefois l'eau des lacs se fait ressentir jusqu'au delà de 100 mètres.

Nous avons parlé de la nécessité de recouvrir les fils de métal d'une matière qui ne permit pas au liquide dans lequel est plongé le couple thermo-électrique, de réagir chimiquement sur les métaux dont celui-ci est composé. Nous en avons acquis la preuve en cherchant à évaluer la température d'une source d'eau thermale qui se trouve au milieu du Rhône, à peu de distance de Saint-Maurice en Valais. La sonde thermo-électrique ayant séjourné quelques instants dans cette eau, le goudron en fut enlevé, et le fer attaqué de manière à produire des effets électro-chimiques qui empêchèrent de continuer l'expérience.

CHAPITRE V.

De la production de la chaleur dans les corps organisés vivants.

Des moyens de mesurer la température des parties intérieures de l'homme et des animaux.

On peut poser dès à présent en principe que partout où il y a vie, il se produit de la chaleur. En effet, qu'est-ce que la vie? C'est une succession non interrompue de réactions chimiques dans les tissus organiques des animaux, sous l'influence nerveuse, et dans les tissus végétaux hors de cette influence, puisqu'ils sont privés de nerfs.

Si le dégagement de la chaleur dans les actions chimiques est une question complexe dont on n'a pas encore une solution satisfaisante, combien de difficultés ne doit-on pas rencontrer quand on cherche à résoudre la question de la chaleur dans les corps organisés, puisqu'un grand nombre de causes, dont la plupart échappent à nos investigations, concourent à l'effet général? La physique et la physiologie peuvent, chacune en leur particulier, fournir des documents propres à nous éclairer, la première en indiquant l'action des forces physiques et chimiques et les moyens de l'étudier, la seconde en faisant connaître l'intervention des organes et le mode d'action de l'influence nerveuse. Il est bien difficile d'établir une ligne de démarcation entre ces deux sciences, relativement à la participation plus ou moins directe de chacune d'elles à l'étude de la chaleur organique. Si le physicien s'isole entièrement du physiologiste, ou celui-ci du premier, l'un court le risque d'attribuer tous les effets à des causes physiques; l'autre, à des forces vitales. Le mieux est que le physicien devienne physiologiste, et réciproquement; en un mot, la physique et la physiologie doivent se prêter un mutuel appui.

Pour remonter aux causes qui concourent à la production de la chaleur dans les corps organisés, il est indispensable de connaître la température des diverses parties dont ils sont composés, afin de bien voir la distribution de cette chaleur, qui, naturellement, nous servira de point de départ pour en étudier les causes productrices. Commençons par la température des animaux.

Les expériences faites jusqu'ici sur la chaleur des animaux sont nombreuses; mais les résultats auxquels elles ont conduit présentent souvent d'assez grandes divergences, que l'on doit attribuer à ce que la marche du thermomètre n'a pas été comparée préalablement à celle d'un autre pris pour étalon.

Le thermomètre, seul instrument dont on faisait usage, n'était introduit directement que dans quelques parties. Voulait-on pénétrer dans l'intérieur des organes, il fallait les inciser, et par conséquent les altérer ou les détruire; dès lors le trouble qui en résultait produisait des effets calorifiques qu'il n'était pas toujours possible de distinguer de ceux provenant de la vitalité. Le thermomètre, en outre, quelque petit que fût son réservoir, avait l'inconvénient de présenter une masse qui absorbait une assez grande quantité de chaleur pour se mettre en équilibre de température avec les régions adjacentes; si celles-ci ne pouvaient recouvrer immédiatement la chaleur enlevée, il en résultait un abaissement de température; de plus, le thermo-

mètre ne pouvait accuser des changements subits de température, car il fallait quelquefois 1 ou 2′, et même plus, pour qu'il se mît en équilibre avec les parties dans lesquelles on le plongeait; la bouche en est un exemple. Or, si pendant ce temps il se fût opéré des changements de température instantanés, il eût été impossible de les reconnaître. Et lors même que l'on eût pu introduire le thermomètre dans certaines régions, à l'aide d'incisions, cela n'eût pas eu lieu sans les plus graves inconvénients pour les organes essentiels de la vie, tels que le cœur, le foie, le cerveau. C'est cependant dans ces régions que le physiologiste a le plus d'intérêt à savoir comment la température y est modifiée par le mouvement, le développement des passions, l'application de certains agents, etc. En outre, il importe à la physiologie et à l'art de guérir, de résoudre une foule de questions relatives à la chaleur animale; de déterminer, par exemple, la différence entre la température d'un organe à l'état normal et celle du même organe à l'état pathologique, afin d'aviser au moyen d'en faire disparaître la cause perturbatrice. Pour explorer la chaleur animale de manière à atteindre ce but, il faut introduire une aiguille ou sonde métallique, plus ou moins déliée, semblable à celles dont on se sert pour l'acupuncture; car il n'existe aucun autre moyen de traverser impunément les organes. Cette aiguille peut être composée de manière à obtenir des effets thermo-électriques donnant immédiatement et avec une grande exactitude la température du milieu où se trouvent des points déterminés de la sonde.

Voilà le principe; décrivons le procédé. Au lieu d'une aiguille, on en prend deux, composées chacune de deux autres, l'une de cuivre et l'autre d'acier, soudées par un de leurs bouts. La soudure de l'une des aiguilles est placée dans un milieu dont la température est constante, pendant toute la durée de l'expérience, tandis que la soudure de l'autre est introduite dans la partie dont on veut évaluer la température. La communication est établie entre les deux aiguilles, d'une part par leur bout acier avec un fil d'acier de même nature, de l'autre par leur bout cuivre, avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur dont la sensibilité est telle qu'une différence de 0°,10 de température entre les deux soudures donne une déviation de 1°.

La source de chaleur constante est fournie par l'appareil de M. Sorel, ou la bouche d'une personne habituée à ce genre d'expériences. La masse d'eau qui donne cette température constante dans l'appareil Sorel est tellement considérable, que la soudure qui y plonge se met promptement en équilibre de température avec elle, de sorte que les

pertes qu'éprouvent les parties de l'aiguille situées au dehors sont, par cela même, promptement réparées; aussi doit-on considérer dans ce cas la température accusée comme étant celle du milieu dans lequel elle se trouve. Il n'en est pas de même de la seconde soudure, qui se trouve dans un muscle situé à peu de distance de la peau, car cette source de chaleur, ayant moins d'étendue que celle de l'appareil Sorel, est aussi moins conductrice de la chaleur en raison des divers tissus qui composent les muscles. Il s'ensuit que le refroidissement produit par la présence de l'aiguille dans ces muscles est d'autant plus sensible que la température de l'air est moins élevée. Aussi trouve-t-on, lorsqu'on expérimente dans un milieu au-dessous de 18 ou 20°, une différence qui va quelquefois jusqu'à un degré de température en faveur de l'appareil Sorel, lors même que la température du muscle avant l'introduction de l'aiguille était la même que celle de l'appareil. Quand on emploie la bouche comme source de chaleur, on n'a pas à craindre autant de différence, attendu que les deux sources ont à peu près la même étendue. Sans toutes ces précautions, il est impossible d'obtenir des résultats exacts.

Nous n'entrerons pas dans de nouveaux développements sur la construction et l'usage du multiplicateur (*Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. II, p. 15, et t. I *de cet ouvrage*, p. 379); nous rappellerons seulement les principes généraux. L'angle de déviation de l'aiguille, produite par la différence de température entre les deux soudures, étant connu, la table des intensités et celle des températures correspondantes donnent l'intensité du courant et la différence de température entre les deux soudures. Si donc la température de l'une d'elles est connue, celle de l'autre ou du milieu exploré s'en déduit immédiatement.

La jonction des deux aiguilles, d'une part par leur côté cuivre avec le fil du multiplicateur, de l'autre par le côté acier avec le fil d'acier, doit être faite avec tout le soin possible, pour qu'il n'y ait pas de perte de courant. A cet effet, on enroulera les deux bouts du fil d'acier en spirale, en faisant l'ouverture assez petite pour que l'extrémité acier qu'on y introduit soit retenue avec force. On nettoie souvent l'intérieur de ces spirales en y passant une petite lime ronde, à l'usage des horlogers, que l'on retourne à diverses reprises pour décaper les surfaces. Les bouts acier des aiguilles doivent être également décapés avec soin.

La forme des aiguilles décrites précédemment exige que l'on perfore les parties animales, afin de rendre libres les deux bouts qui

doivent être mis en communication avec le multiplicateur ; mais cette perforation n'est pas toujours possible, comme dans les cas où l'on détermine la température de l'œsophage ou du tube intestinal. On a recours, alors, à des aiguilles qui ont la forme des sondes de chirurgie, et dont on prendra facilement une idée en jetant les yeux sur la fig. 12, pl. VII. Chaque aiguille ou sonde est formée de deux branches, l'une en acier, l'autre en cuivre, placées parallèlement l'une à l'autre, soudées sur une étendue d'un à deux millimètres seulement à une de leurs extrémités, tandis que tous les autres points sont séparés par une membrane isolante et résistante, telle que celle qui recouvre le dos d'une plume. Cette membrane adhère aux métaux à l'aide d'un mastic élastique, que l'on remplace quand il commence à se détacher. Les deux extrémités libres de cette aiguille sont mises en communication, comme à l'ordinaire, avec le multiplicateur, et les expériences se font comme il a été dit précédemment. La forme de la sonde varie suivant l'usage auquel on la destine, c'est-à-dire, suivant la région dans laquelle elle doit être introduite ; les fig. 13 et 14, pl. VII, représentent des sondes droites et courbes ; mais avec celles-ci on a toujours à craindre que la membrane ne se déchire et que les deux parties de l'aiguille ne communiquent en d'autres points qu'à la soudure. Pour s'assurer s'il y a ou non des contacts partiels, on plonge la pointe de l'aiguille dans une masse d'eau, dont toutes les parties ont sensiblement la même température ; on observe alors la déviation de l'aiguille aimantée, puis l'on continue à enfoncer l'aiguille de plusieurs centimètres dans le liquide, et si la déviation ne change pas, on est assuré que les métaux ne se touchent qu'à leur extrémité ; s'il en était autrement, la déviation varierait.

On ne saurait prendre trop de précautions pour étudier la marche du multiplicateur, quand il a une grande sensibilité ; on court le risque sans cela d'attribuer à des causes particulières des effets qu dépendent de causes locales ; par exemple, quand l'aiguille garde parfaitement le zéro, on est porté à admettre que tout est symétrique de chaque côté, et cependant il n'en est pas toujours ainsi. Quelquefois l'aiguille se porte plus loin d'un côté que de l'autre, par l'action du même courant, selon qu'il chemine dans un sens ou dans un autre ; cet effet tient à ce que le système des deux aiguilles est tellement astatique, qu'il obéit à des influences magnétiques, même éloignées, en vertu desquelles il tend à se diriger plus facilement d'un côté que de l'autre, selon que ces influences s'exercent par

attraction ou par répulsion ; circonstances que l'on doit mettre quelquefois à profit pour diriger convenablement le courant.

Pour opérer, on introduit une des aiguilles mixtes dans la partie du corps dont on veut déterminer la température, en ayant l'attention de placer la soudure au milieu même, tandis que la soudure de l'autre est mise dans la source de température constante. L'aiguille aimantée est déviée en raison de la différence qui existe entre la température de la partie explorée et celle de la source constante. Or, le courant agissant avec d'autant plus de force que l'angle d'écart sur l'aiguille est moins grand, et l'expérience ayant prouvé que c'est entre zéro et 25° environ que l'on obtient le maximum d'effet, on tourne en conséquence la boîte du multiplicateur jusqu'à ce que l'aiguille soit déviée de 20 à 25°, d'un côté ou de l'autre, avant de commencer les expériences ; le courant est alors dirigé de manière à ramener l'aiguille à zéro, car il agit avec d'autant plus de force que sa direction est moins oblique par rapport à celle de l'aiguille : dans le cas où celle-ci excéderait cette limite, on ferait passer le courant dans un fil métallique suffisamment long pour diminuer son intensité. Sans ces précautions, il serait impossible d'observer de faibles différences dans l'intensité du courant ; car plus la déviation est considérable, plus le courant agit obliquement sur l'aiguille, et moins cette déviation augmente par un accroissement très-faible d'intensité. Aussitôt que l'aiguille aimantée est dans une position fixe, on la retire de la partie explorée, et l'on plonge la soudure dans un bain d'eau, dont on élève graduellement la température jusqu'à ce qu'on ait une déviation plus grande de quelques degrés que celle précédemment obtenue. On laisse lentement refroidir l'eau, et on détermine, avec un excellent thermomètre, la température correspondante à la déviation primitive, qui est précisément celle du milieu où se trouvait la soudure dans la première expérience, attendu que l'effet thermo-électrique est le même. Telle est la marche à suivre quand on n'a pas formé la table des intensités.

La méthode expérimentale que nous venons de donner est très-simple. Elle exclut la glace comme source de température constante, qui ne permet pas d'opérer avec un multiplicateur très-sensible, quand il s'agit de la chaleur animale, en raison de la grande différence de température entre les deux soudures, différence qui porterait l'aiguille à 90°. On pourrait, toutefois, placer l'une des soudures dans la région dont on veut connaître la température, et l'autre dans la bouche ; mais les effets électro-chimiques

produits par la réaction du liquide sur l'acier troublent tellement les résultats que les personnes qui ne sont pas habituées à les distinguer des effets thermo-électriques peuvent être induites en erreur. On évite à la vérité les effets électro-chimiques en enduisant la surface des aiguilles de plusieurs couches de vernis à la gomme laque, que néanmoins le frottement continuel causé par leur introduction finit bientôt par enlever. On écarte ces effets en plaçant la soudure libre dans la bouche d'une personne dont on a déterminé la température avec un excellent thermomètre, tandis que l'autre est portée successivement dans les milieux que l'on veut explorer. La personne qui se prêtera à cette expérience doit s'habituer à respirer par le nez pour ne pas introduire de l'air froid dans la bouche, et s'attacher à ne pas bouger la soudure qui est placée au-dessous de la langue, celle-ci pressant la soudure; ces précautions sont indispensables si l'on veut avoir une température sensiblement constante; néanmoins, pour plus de sûreté, on s'assure de temps à autre, avec un thermomètre, si la température de la bouche a éprouvé des variations.

Pour être bien certain de l'exactitude des résultats, on opère d'une manière inverse, c'est-à-dire que l'on place la soudure de la première aiguille qui se trouvait dans la bouche, dans la partie dont on cherche la température, et celle de l'autre aiguille dans la bouche. Si les résultats sont les mêmes dans les deux cas, quand les aiguilles sont bien identiques, on peut considérer les expériences comme bonnes. Dans le cas contraire, on cherche d'où peut provenir la différence, et l'on continue à expérimenter jusqu'à ce que l'on soit parvenu à l'égalité absolue; ce à quoi on arrive avec un peu d'habitude. Quand on ne veut pas se servir d'une bouche comme source de température constante, on emploie l'appareil Sorel, pourvu cependant qu'on se mette en garde contre les inconvénients signalés.

Nous avons déjà dit que la sonde introduite dans une région quelconque du corps n'accusait la température propre à cette partie qu'autant que la déperdition de la chaleur, le long de la sonde, était réparée immédiatement, condition remplie toutes les fois que la sonde était de petit diamètre. Mais il est encore nécessaire d'examiner jusqu'à quel point l'introduction d'un corps étranger dans un muscle ou un organe quelconque, peut en modifier la température en y excitant une inflammation passagère. Nous ferons d'abord remarquer que si une partie de la chaleur, accusée par les effets thermo-électriques, provenait de l'irritation produite par l'introduction de l'aiguille, cette cha-

leur devrait être d'autant plus forte que l'aiguille serait plus grosse ; les expériences suivantes démontrent qu'il n'en est pas toujours ainsi.

Les deux soudures de deux aiguilles, acier et cuivre, d'un demi-millimètre de diamètre, avaient été placées l'une dans la bouche d'un jeune homme de vingt ans, l'autre dans le muscle biceps d'un autre jeune homme ; on obtint une déviation de 8° du galvanomètre en faveur du muscle biceps, ce qui annonçait une différence de 0,8 de température centigrade entre la température du muscle et celle de la bouche, car un degré de déviation correspondait dans l'échelle à un dixième de degré de température centigrade; avec deux aiguilles d'un millimètre de diamètre, le résultat fut semblable, et avec des aiguilles encore plus fortes, la déviation ne varia pas pendant dix minutes. On voit donc que la présence d'aiguilles plus ou moins fortes, mais ne dépassant pas toutefois certaines limites, n'a pas modifié sensiblement la température des muscles et autres parties du corps. Ce fait est facile à concevoir : des aiguilles, assez fines bien entendu, lors de leur introduction, écartant seulement les parties, n'y produisent aucun désordre capable de troubler leur arrangement organique, et par conséquent de modifier leur température.

Passons aux expériences d'abord faites sur trois personnes, que nous désignerons par A, B, C; les deux premières âgées de vingt ans, la troisième de cinquante-cinq ans, puis sur deux chiens.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Température de l'air, 12° centigrades.

DÉSIGNATION DE LA PARTIE.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	DIFFÉRENCE.
Biceps brachial de A.	36°,53	1°,83
Tissu cellulaire adjacent.	34 ,70	
Bouche.	36 ,80	
Biceps brachial de B.	36 ,83	1 ,38
Tissu cellulaire adjacent.	35 ,45	
Bouche.	36 ,70	
Biceps de C.	36 ,77	1 ,44
Tissu cellulaire.	31 ,33	
Bouche.	37 ,00	
CHIEN NOIR.		
Muscle fléchisseur de la cuisse.	38 ,40	1 ,40
Tissu cellulaire du cou.	37 ,00	
Abdomen.	38 ,50	
Poitrine.	38 ,40	
AUTRE CHIEN.		
Muscle de la cuisse.	38 ,00	
Poitrine.	37 ,00	
Abdomen.	38 ,10	

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	DIFFÉRENCE.
Bouche de B.	36°,85	
Bouche de A.	36 ,95	
Bouche de B.	37 , 0 mesuré au thermomètre.	
2e EXPÉRIENCE.		
Biceps de B.	37 ,10	1°,62
Tissu cellulaire.	35 ,48	
3e EXPÉRIENCE.		
CARPE (*Cyprinus carpio*).		
Diverses régions.	13 ,50	0 ,50
Eau.	13 ,00	

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.	OBSERVATION.
CHIEN CANICHE.		
Muscle de la cuisse.....	38°,25	La température a baissé subitement de plusieurs degrés, et quelques minut. après l'animal n'existait plus.
Poitrine.....	38 ,85	
Le cerveau. — On a pratiqué dans le crâne deux couronnes de trépan pour laisser passer les deux bouts de la sonde.....	38 ,25	

Les résultats consignés dans les tableaux précédents conduisent aux conséquences suivantes :

1° Il existe une différence bien marquée entre la température des muscles et celle du tissu cellulaire dans l'homme et les animaux, différence qui paraît dépendre de la température extérieure, et de la manière dont l'individu est vêtu ou recouvert. Cette différence, dans l'homme, varie de 1°,25 à 2°,25 en faveur des muscles. Les corps vivants se trouvent donc dans le cas d'un corps inerte dont on a élevé la température, et qui est soumis à un refroidissement continuel de la part du milieu dans lequel il se trouve : ce refroidissement se fait sentir d'abord à la surface, puis gagne successivement les couches intérieures jusqu'au centre. Mais comment les pertes sont-elles réparées insensiblement dans l'homme et les animaux ? C'est ce dont nous nous occuperons en parlant de la production de la chaleur dans les corps organisés.

2° La température moyenne des muscles de trois jeunes gens a été trouvée d'environ 36°,77 centigrades.

Comparons ce résultat aux nombres adoptés par plusieurs physiciens et physiologistes pour la température moyenne du corps humain.

J. Davy. — Chaleur humaine..... 36°,66
Despretz. — Température moyenne de neuf hommes âgés de 30 ans..... 37°,14
Température moyenne de quatre hommes âgés de 68 ans..... 37°,13
Température moyenne de quatre jeunes gens de 18 ans..... 36°,99

Hunter. — Rectum d'un homme bien portant, entre. . . . . 36°,10 et 36°,66

Notre résultat est à peu près la moyenne des valeurs trouvées par John Davy et Despretz avec le thermomètre, instrument dont l'emploi très-restreint, comme nous l'avons déjà dit, ne saurait accuser la température du tissu cellulaire en raison de son peu d'épaisseur.

La température moyenne des muscles de plusieurs chiens est de 38°,50, suivant nos expériences; cependant, une fois, nous avons trouvé 38°,33 dans la poitrine, tandis que M. Despretz assigne, pour la température du même animal, 39°,48 : la différence est de plus d'un degré. Il est probable que cette différence tient à des causes accidentelles dont M. Despretz n'a pu tenir compte. Nous devons faire remarquer que la température des muscles éprouve des changements notables en raison de l'état de santé de l'individu et de diverses causes excitantes. C'est là peut-être la cause des variations que l'on observe fréquemment entre les résultats obtenus sur le même individu dans deux expériences différentes.

Dans le chien, la température de la poitrine, celle de l'abdomen, du cerveau, est sensiblement la même et égale à celle des muscles. Un fait digne de remarque et que nous avons consigné dans le tableau de la troisième série d'expériences, c'est que l'appareil ayant accusé 38°,25 pour la température du cerveau, cette température s'abaissa subitement de plusieurs degrés, et quelques minutes après l'animal n'existait plus.

La carpe ordinaire (*Cyprinus carpio*) ne nous a donné qu'une différence d'un demi-degré, entre la température de son corps et celle de l'eau.

La température des muscles éprouve des variations par la contraction, le mouvement et la compression. Supposons que l'une des soudures soit maintenue à une température fixe de 36°, et que l'autre soit placée dans le muscle biceps brachial, le bras étant tendu, l'aiguille aimantée est déviée de 10° environ; si l'on ploie alors l'avant-bras de manière à contracter le muscle, la déviation augmente aussitôt de 1 à 2°. On attend que l'oscillation et son retour soient achevés, et à l'instant où elle recommence, on ploie de nouveau le bras, afin de donner une nouvelle impulsion à l'aiguille aimantée. On finit ainsi par obtenir une déviation de 15° qui correspond à une déviation définitive de 5°, et par suite à une augmentation d'un demi-degré de température centigrade. Cette expérience, répétée un grand nombre de fois, prouve que les contractions ont la propriété d'augmenter la tempé-

rature des muscles. Pour bien observer ces effets, l'appareil doit accuser au moins des dixièmes de degré.

Une des soudures restant dans le muscle biceps, si, avec le bras correspondant, on fait pendant cinq minutes le mouvement de scier du bois, la température monte d'une quantité notable, qui va quelquefois jusqu'à un degré. L'agitation, le mouvement, et en général tout ce qui détermine un afflux de sang, tendent donc aussi à élever la température des muscles. Mais sont-ce là les seules causes? Le système nerveux ne joue-t-il pas aussi un rôle? C'est ce que nous examinerons en parlant de la chaleur animale.

La compression d'une artère, au contraire, diminue la température des muscles situés au delà du vaisseau adjacent. La soudure se trouvant encore dans le muscle biceps, ou mieux encore dans le muscle de l'avant-bras, si l'on comprime fortement l'artère humérale avec la main, le mouvement de l'aiguille aimantée annonce immédiatement un abaissement de température de quelques dixièmes de degré.

Il n'est pas superflu de rapporter encore quelques résultats qui ne seront pas inutiles à ceux qui s'occupent de recherches relatives à la distribution de la chaleur dans toutes les parties du corps.

D'après des observations faites pendant une année, par Martine, la température de la surface extérieure du corps, au bas-ventre, est de 35° à 37,50; à la poitrine, de 33° à 37; à la main, de 29° à 37; au pied, de 20° à 21,25. J. Davy a trouvé, au-dessus de l'ombilic, 35°; à la poitrine, de 33°,90 à 34,40; à la cuisse, 34°,40; à la jambe, de 32°,7 à 33,9; au milieu de la plante du pied, 32°,1.

De la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux.

Les premières recherches pour reconnaître la différence qui existe entre la température du sang artériel et celle du sang veineux, sont dues à M. John Davy. Les résultats qu'il a obtenus ont été l'objet de quelques critiques. A la vérité, le mode d'expérimentation employé par lui pouvait faire croire que les températures obtenues n'étaient pas précisément les mêmes que celles des vaisseaux à l'état normal.

Ayant ouvert la veine jugulaire et la carotide de différents animaux, il introduisit dans chacun de ces vaisseaux un thermomètre ayant un réservoir assez petit pour ne pas gêner la circulation. Il obtint, dans des expériences faites sur cinq agneaux, des résultats dont

la moyenne était +0°,74 pour la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux.

Pour arriver à déterminer la différence entre les deux températures avec les aiguilles thermo-électriques, sans encourir le reproche adressé au physicien anglais, de désorganiser les vaisseaux et de gêner plus ou moins la circulation du sang par l'introduction de la boule du thermomètre dans le canal vasculaire, nous avons pris deux aiguilles (*fig.* 15, pl. VII), composées chacune de deux autres, l'une de cuivre, l'autre d'acier, soudées à l'une de leurs extrémités seulement sur une étendue de 1 à 2 millim., légèrement recourbées à cette même extrémité terminée en pointe très-fine, afin de pouvoir l'introduire dans les vaisseaux sans produire d'hémorragie. A partir de la pointe, les aiguilles vont en s'écartant, et on les assujettit avec de la soie à une tige en ivoire que l'on tient toujours entre les doigts, dans la crainte de communiquer de la chaleur au métal. Après avoir été mises en communication d'abord l'une avec l'autre au moyen d'un fil d'acier, puis chacune avec le multiplicateur à fil court, ces deux aiguilles ont servi à faire des expériences sur quatre chiens de moyenne grandeur.

L'une d'elles a été mise dans l'aorte à la sortie du cœur, l'autre dans la veine cave descendante, avant son entrée dans l'oreillette droite. La poitrine était ouverte; les poumons affaissés ne remplissaient que très-imparfaitement leurs fonctions, et le sang qui suintait de l'aorte paraissait presque noir. L'aiguille du multiplicateur s'est déviée immédiatement de 3° en faveur du sang artériel; or, comme une expérience préalable faite avec l'appareil à température constante de M. Sorel indiquait qu'une déviation de 1° correspondait à 0,28 de chaleur, il en résulte que la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux était de 0°,84. Le tableau suivant renferme les résultats des expériences faites sur trois autres chiens.

POSITION DES AIGUILLES.	DÉVIATION DE L'AIGUILLE AIMANTÉE.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.
2e CHIEN.		
Une des aiguilles placée dans l'aorte crurale, l'autre dans la veine correspondante.....	4°	1°,12
L'ordre des aiguilles a été interverti. Celle qui était dans l'artère crurale a été mise dans la veine correspondante, et *vice versâ*.....	4	1 ,12
3e CHIEN.		
Une des aiguilles dans l'artère crurale, l'autre dans la veine correspondante.....	3	0 ,84
L'ordre des aiguilles étant interverti.	3	0 ,84
4e CHIEN.		
Une des aiguilles dans l'artère carotide, à la partie inférieure, le plus près possible du cœur, l'autre dans la veine crurale, vers la partie moyenne.....	3	0 ,84

La moyenne de ces résultats indique que la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux dans les chiens de moyenne grandeur est de 1°,01.

M. John Davy, avait obtenu sur des agneaux, pour moyenne 0°,74, c'est-à-dire, 0,37 moins que nous sur des chiens. Il est difficile d'avoir une concordance plus grande dans des expériences aussi délicates que celles que nous rapportons, surtout quand les vaisseaux n'ont pas un grand diamètre.

Nous avons interverti l'ordre des aiguilles pour être assuré de l'exactitude des résultats, c'est-à-dire que l'une a été mise à la place de l'autre, et réciproquement; nous n'avons pas trouvé de différence. On a déterminé ensuite, au moyen de l'appareil à température constante, la température réelle de la veine jugulaire et celle de l'artère crurale. Nous avons reconnu que l'une était de 38° et l'autre de 38°,90; la différence entre ces deux valeurs, qui est de 0°,90 au lieu

de 1°,01, tenait probablement à des erreurs dont on n'a pu se garantir.

Nous avons essayé de voir comment la température varie dans le même système artériel ou veineux d'un chien de moyenne grandeur, à mesure que l'on s'éloigne du cœur. Les résultats obtenus indiquent une très-faible différence en faveur des parties les plus rapprochées du cœur.

POSITION DES AIGUILLES.	DÉVIATION DE L'AIGUILLE.	TEMPÉRATURE CENTIGRADE.
L'une des aiguilles dans la carotide.	En faveur de la carotide.	
L'autre dans l'artère crurale.....	0,5	0,15
2e CHIEN.		
L'une des aiguilles dans la veine jugulaire externe, l'autre dans la veine crurale.....	En faveur de l'artère jugulaire... 1° ..	0,3

Ces résultats ont été vérifiés en changeant de place les aiguilles. Nous voyons par là que la température, dans le même système artériel ou veineux, paraît diminuer à mesure qu'on s'éloigne du cœur. On a fait aussi plusieurs expériences sur un coq d'Inde (*meleagris gallo-pavo*). La température du muscle grand pectoral a été trouvée de 40°; celle du tissu cellulaire sous-cutané, de 38°,50. Après une préparation préalable qui a forcé d'enlever le sternum, une des aiguilles a été placée sous l'oreillette droite du cœur, et l'autre sous l'oreillette gauche; on a obtenu une déviation de 3°, correspondant à 0,90 de degré centigrade, en faveur de celle-ci. Dès lors, il existait une différence d'un peu moins d'un degré entre la température de l'oreillette gauche du cœur et celle de l'oreillette droite.

Suivant M. J. Davy, le poumon, le foie, la rate, ainsi que les viscères voisins du cœur, ont à peu près la même température que le cœur. La température du cerveau est moins élevée que celle des parties situées dans le bassin. Les parties antérieures du cerveau sont un peu moins chaudes que les parties postérieures; la température des membres est plus basse que celle du tronc, et les parties superficielles moins chaudes que les parties profondes. La peau a un degré de moins que les viscères intérieurs, ceux-ci un degré de moins que le sang; la

chaleur est un peu plus élevée sous le trajet des gros vaisseaux, et surtout aux plis des articulations. Il a observé, dans un animal qui venait d'être tué, 32°,22 sous l'os du tarse, 36°,11 sous l'os du métatarse, 38°,89 sous l'articulation du genou, 39°,44 aux environs de la tête du fémur, 40° à l'aine, 40° au cerveau, 41° au rectum, 41° dans le sang de la veine jugulaire, 41°,11 dans la face antérieure du foie, etc. Quelques-uns de ces résultats avaient également été observés par nous à l'aide des appareils thermo-électriques.

Des variations de température dans différents cas pathologiques.

Quand la vie est modifiée dans une partie quelconque, les réactions chimiques ne s'opèrent plus de la même manière; dès lors la température peut varier non-seulement dans cette partie, mais encore dans tout l'individu, en raison de la relation générale de toutes les parties. L'appareil électro-magnétique sert parfaitement à reconnaître les changements de température qui ont lieu dans divers cas pathologiques; voici les principaux résultats obtenus :

1° Un homme âgé de trente-deux ans, atteint d'une fièvre typhoïde, compliquée de bronchite.

Le pouls donnait 116 pulsations à la minute.

Température du muscle biceps brachial..... 38°,80

Température de la bouche..... 39°,65

2° Un homme, âgé de vingt-quatre ans; entérite compliquée de bronchite.

116 pulsations à la minute.

Température du biceps brachial droit..... 39°,50

3° Jeune fille scrofuleuse, dans un état fébrile bien marqué.

Température de la bouche..... 37°,50

Id. d'une tumeur scrofuleuse enflammée, à la partie supérieure du cou..... 40°

Température d'une tumeur fongueuse dans le tissu cellulaire..... 40°

Température du biceps brachial..... 37°,25

Ces résultats, et d'autres que nous ne rapportons pas, ont conduit aux conséquences suivantes :

1° L'état fébrile donne un accroissement de température dans les organes affectés, qui peut aller jusqu'à 39° et même au delà, la tempé-

rature du muscle brachial, dans l'état normal, étant d'environ 36°,87.

2° Les tumeurs scrofuleuses fortement enflammées n'ont pas donné un accroissement plus considérable de température. Les parties purulentes ne participent pas à cet accroissement.

3° La paralysie n'a présenté aucune différence bien sensible entre la température du membre malade et celle du membre paralysé.

Les résultats suivants, obtenus par divers observateurs, avec le thermomètre, viennent confirmer les précédents.

Dans la fièvre jaune, la température s'élève à 38°,89; dans la fièvre intermittente, de 41°,11 à 42°,21; dans la fièvre continue, à 42°72.

Martine a observé sur lui-même que dans un accès de fièvre intermittente la chaleur de la peau était de 41°,11, et que celle de son sang devait atteindre 41°,50, et même 42°. A l'instant du frisson la chaleur de la peau était de 2 ou 3° plus élevée que dans l'état naturel. Il observa aussi la température des diverses parties du corps après les avoir enflammées, et en tira cette conséquence, que le plus souvent la chaleur de la partie a été plus grande avant qu'après le développement de l'inflammation, mais que presque jamais cette chaleur n'a dépassé la température commune de l'animal.

De la température des insectes dans ses rapports avec les fonctions de la respiration et de la circulation.

Des expériences ont été faites depuis longtemps sur la température des insectes qui vivent en société et qui émettent une température supérieure à celle de l'air ambiant; mais on ne s'est occupé que dans ces derniers temps de la température de chaque individu dans ses rapports avec les phénomènes de respiration et de circulation. Il résulte des expériences de M. G. Newport (*Trans. phil.*, 1837, 2e part., p. 259) que chaque insecte en particulier, et pendant qu'il agit, possède une température plus élevée que celle de l'atmosphère, température qui varie d'une espèce à l'autre.

L'ancien mode d'expérimentation consistait à renfermer un certain nombre d'insectes dans un vase où était placé un thermomètre. C'est ainsi que John Davy a trouvé que les *scarabeus pilularis*, *lampyris*, *blatta*, *grillus* et *apis* avaient une température un peu supérieure à celle de l'air ambiant. Il a même avancé que le scorpion et le mille-pieds donnaient une température inférieure à celle de l'atmosphère. M. Newport s'est servi d'un thermomètre du plus petit calibre possible, avec lequel il a mesuré successivement la tem-

pérature de l'atmosphère et celle de l'insecte, afin d'avoir des résultats bien comparables. L'insecte était placé de manière que la surface de son abdomen s'appliquât contre la boule du thermomètre. L'insecte s'agitait-il, on le retenait entre les branches d'une pince recouverte de laine. Malgré les précautions prises pour garantir l'insecte de tout rayonnement extérieur, nous ne voyons pas comment M. Newport s'est mis en garde contre la chaleur transmise à la pince par la main. On peut cependant y parer facilement.

Quant aux insectes volants et actifs, M. Newport les renfermait dans une petite fiole au moyen de pinces. Le frottement des anneaux du corps de l'insecte contre la boule du thermomètre ne produisait qu'une augmentation insensible de température; les appareils thermo-électriques auraient été employés avec beaucoup plus de succès. Quoi qu'il en soit, voici les résultats obtenus avec le thermomètre. La température de la larve est inférieure à celle de l'insecte, pourvu que les deux individus se trouvent dans un état semblable d'activité.

L'abeille commune, les *bombyx antophoræ*, etc., ont dans toutes leurs phases une température plus élevée que celle des autres insectes d'environ 1°,11 à 2°,22, au-dessus du milieu ambiant, à l'état de larve, tandis qu'à l'état d'insecte parfait et en action modérée, ils ont de 3 à 8° au-dessus du milieu, et même plus quand ils sont fortement excités. Les diptères présentent dans leurs divers états une différence beaucoup plus faible, et paraissent ne pas avoir autant de chaleur que les hyménoptères : la différence est plus grande encore dans les lépidoptères, qui, pour cela, se rapprochent des hyménoptères.

Avant de terminer ce qui concerne la température des insectes, nous allons rapporter les résultats obtenus, en faisant concourir en même temps à cette détermination l'appareil thermo-électrique et le thermomètre.

La température de la pièce où l'on opérait était de 22°,50; une des soudures a été placée dans le sens de la longueur d'une blatte, et l'autre est restée dans l'air ; on a eu une différence de température égale à 0°,75 en faveur de la blatte.

La larve d'Oryctès a donné une différence de température d'un degré et demi environ. Un thermomètre ayant été introduit dans l'insecte, au moyen d'une incision, on a trouvé également une température sensiblement égale à 1°,50.

L'appareil thermo-électrique a indiqué dans la chenille du ver à

soie 0°,87, et le thermomètre environ 1°, résultat assez concordant.

Parmi les lépidoptères, une larve très-avancée du *sphynx atropos* s'est trouvée avoir une température de 1°,66 au-dessus de l'air ambiant, tandis que lorsque l'animal est en repos, la température est à peu près celle de l'atmosphère; mais elle s'élève dès qu'il devient actif, et d'autant qu'il est plus agité. Dans la larve du *sphynx* et du *sovara*, la température interne est de 0°,27 à 0°,55 environ supérieure à celle externe. Suivant M. Newport, les coléoptères doivent se comporter comme les hyménoptères et les diptères. Ayant examiné la température des insectes à l'état de poupa, qui indique une condition de repos absolu, il a trouvé que la température est plus basse, égale, ou du moins peu supérieure à celle du milieu ambiant; dans les insectes qui n'éprouvent pas de métamorphose, la température est probablement intermédiaire à celle de la larve et de l'état parfait. L'insecte à l'état parfait possède la plus haute température, et se laisse même influencer par les changements soudains de température.

Lorsque l'insecte est privé de nourriture, sa température est inférieure à celle de l'air; elle baisse par l'inactivité; il en est de même pendant le sommeil. Si la température de l'atmosphère vient à changer, l'insecte en éprouve les effets, mais pas aussi rapidement que lorsqu'il est en activité. L'hivernage produit le même effet que le repos. L'excitation augmente la température, comme on peut le voir facilement sur plusieurs individus réunis. Les insectes volants ont la plus haute température; en tête sont les abeilles, les papillons, ensuite les frelons, les guêpes, puis les fourmis: on savait déjà que la température d'une fourmilière était de 17° quand celle de l'air était de 10°; viennent enfin les insectes crépusculaires, en tête les sphinx et les teignes.

Relativement aux abeilles nourricières, M. Newport a trouvé que les femelles chargées de l'incubation ont la faculté de produire de la chaleur à volonté au moyen de la respiration. L'expérience suivante paraît concluante. La température du couvercle en cire étant de 25°,40 à 8 heures et demie, celle de l'atmosphère de 22°,5, l'intérieur du nid dans les cellules où étaient les nourricières marquait 31°,77 une demi-heure après, 32°,33, à 12 heures l'atmosphère n'étant plus que de 21°,22, la température des abeilles nourricières, après l'éclosion, était de 29°,44.

Enfin, des expériences dont nous venons de présenter les principaux résultats, il faut conclure que les changements chimiques de l'air pendant la respiration sont la cause principale de la chaleur animale, et que l'action du système nerveux n'est que secondaire.

De la température des animaux à sang froid, en faisant concourir à sa détermination les appareils thermo-électriques et les thermomètres.

L'appareil thermo-électrique qui a servi jusqu'ici à la détermination de la température des animaux à sang chaud peut être employé pour les animaux à sang froid ; seulement, comme cette température est peu différente de celle des milieux ambiants, on peut se contenter de maintenir une des soudures dans ce milieu, en les préservant, au moyen d'écrans, de tout rayonnement de la part des objets environnants. A cet effet, on prend deux boîtes en carton, recouvertes intérieurement et extérieurement de papier métallique, afin d'augmenter le pouvoir réflecteur. Des deux côtés opposés de ces boîtes, on pratique des ouvertures qui permettent l'introduction des aiguilles. On place l'aiguille libre dans une de ces boîtes, en laissant le couvercle ouvert, et dans l'autre boîte, la seconde aiguille introduite dans l'animal soumis à l'expérience, par conséquent avec l'animal même ; puis on referme les deux boîtes en même temps.

Les deux aiguilles pouvant conserver de la chaleur acquise ou communiquée par les mains de l'expérimentateur, il ne faut les mettre en relation avec le multiplicateur que 5 à 10', et même plus, après qu'on a cessé de les toucher ; toutes les fois qu'il existe une différence de température entre les deux soudures, l'aiguille aimantée est projetée à une certaine distance, puis elle vient prendre une position fixe d'équilibre après un certain nombre d'oscillations. On doit noter et l'angle d'écart par première impulsion, et l'angle d'écart après la fixation de l'aiguille, attendu que ce dernier étant très-faible, et par cela même difficile à observer, les deux angles servent à se contrôler l'un l'autre.

La différence entre les températures des soudures étant toujours très-faible, il est indispensable que le pouvoir thermo-électrique des deux aiguilles soit exactement le même, sans cela on pourrait être induit en erreur. Les animaux sur lesquels on opère ayant quelquefois de très-petites dimensions, il faut toujours avoir à sa disposition un assortiment d'aiguilles tel que l'on puisse au besoin opérer avec

des aiguilles d'un 1/3, d'un 1/4 ou d'un 1/5 de millimètre de diamètre.

En général, il faut éviter que les aiguilles aient une grosseur telle qu'étant introduites dans les parties intérieures des animaux, il en résulte un refroidissement sensible. Rien n'est plus simple que de s'assurer quand ce refroidissement a lieu. Il faut seulement observer si la déviation de l'aiguille aimantée reste constante toutes les fois que l'air ou le milieu dans lequel on opère n'éprouve aucune variation de température.

On doit bien se garder d'expérimenter sur des poissons, mollusques, etc., à l'instant où on les retire de l'eau, attendu que le liquide qui adhère à leur surface abaisse naturellement, en s'évaporant, la température de l'animal. Il faut avoir la précaution que négligent quelquefois les expérimentateurs, de s'assurer, par des expériences préalables, que les deux aiguilles ont exactement le même pouvoir thermo-électrique. Il suffit pour cela de mettre successivement chaque soudure dans la bouche d'une personne dont on a d'abord déterminé la température avec une grande exactitude, au moyen d'un thermomètre. Si la température est la même dans chacune d'elles, et que leur pouvoir thermo-électrique soit égal, l'aiguille reste à zéro; mais cela n'a pas toujours lieu. Par exemple, nous avons trouvé qu'avec deux aiguilles qui paraissaient identiques, placées chacune dans la bouche d'une personne différente, les deux bouches ayant la même température, on avait toujours une déviation de l'aiguille aimantée égale à 5°. Nous fûmes obligés, dans nos expériences, de faire une correction relative à cette différence qui est variable avec la température à laquelle on opère; nous insistons beaucoup sur toutes les précautions à prendre pour déterminer rigoureusement la température à l'aide des appareils thermo-électriques, car si on les néglige, on commet des erreurs graves. Les expérimentateurs doivent s'éloigner des points de jonction du fil d'acier établissant la communication avec les bouts acier, car il n'existe jamais une homogénéité parfaite entre l'acier du fil et celui des aiguilles; la moindre différence de température entre ces points de jonction peut influer sur la déviation de l'aiguille aimantée. Pour s'assurer de l'exactitude des résultats, il faut, autant que possible, les contrôler par des déterminations thermométriques; à cet effet, on emploie un thermomètre à très-petit réservoir et à tube microscopique, afin d'avoir des indications presque instantanées. Nous nous sommes servi d'un thermomètre de Bellani, très-sensible, dont les degrés occupent peu d'étendue à la vérité, mais sur lequel la chaleur de la main agit à

une distance de deux décimètres. Passons aux expériences que nous avons faites en commun avec M. Flourens.

De la température de la grenouille.

Première expérience. Une des soudures a été engagée au milieu de la cuisse gauche d'une grenouille. La soudure de l'autre aiguille est restée dans l'air, dont la température était de 19°,25, et éloignée de tout corps qui pût rayonner de la chaleur. Dès l'instant que le circuit a été fermé, l'aiguille aimantée a été projetée à 7° et s'est fixée à 3°, après un certain nombre d'oscillations. Ce résultat annonçait une différence de 0°,75 de température en faveur de la cuisse de la grenouille.

Deuxième expérience. On a recommencé la première expérience en changeant les aiguilles de place, c'est-à-dire, en mettant dans la cuisse la soudure qui se trouvait précédemment dans l'air, et réciproquement. Le résultat a été le même.

Troisième expérience. Une des aiguilles a été introduite dans le tube intestinal et sortait par la gorge; l'autre aiguille est restée dans l'air. La déviation a donné une différence de 0°,5 sur celle de l'air, en faveur du tube intestinal.

Quatrième expérience. La poitrine de la grenouille, explorée de la même manière, a indiqué une différence de 0°,75 de température supérieure à celle de l'air ambiant.

Les résultats de ces quatre expériences montrent que lorsque la température de l'air est de 19°,25, celle des parties intérieures de la grenouille est d'environ 20°. Il était important de reconnaître si, en exposant la grenouille à une température supérieure à 19°,25, on obtiendrait les mêmes résultats. L'animal fut placé pendant quatre heures dans une pièce dont la température était de 23°,75; on obtint les mêmes résultats que ceux précédemment indiqués.

Température du crapaud.

On a expérimenté de la même manière sur les cuisses, la poitrine et l'abdomen d'un crapaud; on a obtenu les résultats suivants, indiquant également une légère différence de température supérieure à celle de l'air ambiant pour toutes ces parties :

Dans les muscles de la cuisse...	0°,75
Dans la poitrine.....	0°,50
Dans les cuisses.....	0°,75
Dans l'abdomen.....	0,50

La moyenne de ces quatre résultats donne 0°,62, ce qui indique que la température du crapaud est d'environ 19°,87, lorsque celle de l'air est de 19°,25.

Température du lézard.

L'une des soudures a été mise dans les muscles de la partie basse de la queue; l'autre est restée dans l'air; l'aiguille aimantée a été projetée à 10°,50, et s'est fixée définitivement à 5°, ce qui annonçait une déviation de 1°,25 en faveur de l'animal; l'abdomen n'a donné que 0°,75. On a recommencé, en plaçant de nouveau la soudure à la base de la queue; cette fois, on n'a obtenu qu'environ 1°. Les petites différences que l'on trouve entre les résultats proviennent, comme on le verra ci-après, de la chaleur communiquée à l'animal par la main de l'expérimentateur. Il paraîtrait que les animaux à sang froid se mettent assez promptement en équilibre avec la température des milieux ambiants.

Température de l'orvet.

Une des soudures a été placée à travers les muscles de la région lombaire, dans le sens de la longueur de l'animal. L'aiguille a été projetée à 7°, et s'est fixée définitivement à 3°,50; dès lors, cette partie avait une température de 0°,87 supérieure à celle de l'air ambiant; l'une des soudures ayant été passée à travers le corps, on a obtenu la même température. L'orvet, placé pendant quatre heures dans une pièce dont la température était de 23°,75, a donné à l'appareil une différence de 1° en plus.

Température de la couleuvre.

Les muscles de cet animal, à l'origine de la queue, ont donné une température de 0°,75 supérieure à celle de l'air ambiant. La cavité abdominale située à la moitié de la longueur du corps a indiqué une différence de 1°, et la région du cœur, 1°,25.

Dans une pièce où la température était de 23°,75, la couleuvre a donné, pour son intérieur, une différence de 1°,35. Un thermomètre, introduit dans l'anus, a indiqué environ 2°; mais comme on était obligé de tenir l'animal, il a pu se faire que la différence entre le résultat accusé par l'appareil thermo-électrique et celui du thermomètre, fût due à la chaleur communiquée par la main.

Température de l'escargot.

On a percé la coquille en deux points opposés, afin de pouvoir perforer l'animal; on a eu constamment une différence de 0°,5 de température en faveur de celui-ci.

On a expérimenté sur un individu qui avait été tenu dans la main pendant 40′. L'aiguille aimantée a été projetée à 40°, et s'est mise en équilibre à 25°, ce qui annonçait une température d'environ 8° supérieure à celle de l'air ambiant, et qui, provenant de la chaleur acquise, a diminué peu à peu. Cinq minutes après, l'aiguille aimantée est descendue à 5°; après dix minutes, l'aiguille n'avait pas changé de position. Si l'on eût continué l'expérience, la chaleur acquise se serait dissipée peu à peu, et l'on n'aurait plus trouvé ensuite que la température indiquée plus haut. Afin d'éviter le rayonnement des corps extérieurs, la soudure libre et la soudure engagée avaient été placées chacune séparément dans une boîte de carton fermée. Placé pendant plusieurs heures à une température de 23°,75, l'escargot n'a donné qu'une augmentation de température de 0°,4.

Température des moules, mollusques et autres animaux, à leur sortie de l'eau.

Il est extrêmement difficile de déterminer la température de ces animaux, en raison de la couche d'eau qui adhère à leur surface, et qui, en se vaporisant, les refroidit continuellement. La différence entre la température de leurs parties intérieures et celle de l'air ambiant étant très-faible, les instruments indiquent quelquefois pour ces parties une température inférieure à celle du milieu.

L'expérience suivante montre avec quelle facilité les moules sont impressionnables aux variations de température extérieure, ce qui explique les difficultés que l'on doit éprouver à déterminer la température réelle des mollusques.

L'appareil thermo-électrique avait indiqué une différence de température de 1°,37 pour une moule. L'animal avec sa coquille ayant été tenu pendant deux minutes entre les doigts, l'appareil accusa 2°,50; d'après cela, la première température obtenue provenait sans nul doute de la chaleur communiquée par la main. Dans un cas où l'animal était resté assez longtemps en expérience afin de dissiper la chaleur acquise, on a obtenu une température inférieure à celle de l'air,

ce qui s'explique par les raisons données précédemment. Les expériences sur les poissons, l'écrevisse, ont donné des résultats souvent opposés, en raison de la même cause. Néanmoins, on pense, d'après une expérience faite sur une tanche et qui a duré un quart d'heure, que ce poisson devait avoir une température supérieure de 0°,50 à celle de l'air ambiant.

Température des reptiles de la ménagerie du muséum d'histoire naturelle, se trouvant dans un milieu dont la température était d'environ 17°,50.

Un thermomètre, placé dans l'anus de la couleuvre d'Esculape, a indiqué une température de 20°,60, ce qui annonçait une différence de 3°,10 en faveur de l'animal.

Température du boa. La température de la caisse où se trouvait le reptile était de 25°,6, mesurée au moyen d'un thermomètre placé sur les couvertures. Un thermomètre introduit dans l'anus a indiqué une température de 28°,1.

Les développements dans lesquels nous sommes entré suffisent pour indiquer les méthodes à l'aide desquelles on détermine avec exactitude la température des parties intérieures de l'homme et des animaux; les résultats qui accompagnent ces développements nous mettront à même d'étudier les causes productrices de la chaleur animale. Pour avoir encore un plus grand nombre de documents, nous rapporterons les déterminations de température de divers animaux faites par M. John Davy.

TABLEAU DES TEMPÉRATURES DE DIVERS ANIMAUX OBSERVÉES PAR M. JOHN DAVY.

NOM DE L'ANIMAL.	La température en degrés centigrades.	Température ambiante.	LIEU DE L'OBSERVATION.
Mammifères.			
Singe.	+39°,7	+30°	Colombo.
Paogolin	26,7	27	Idem.
Chauve-souris	37,8	28	Idem.
Idem	38,3	28	Idem.
V. Vampirus.	37,8	21	Idem.
Écureuil	38,8	27	Idem.
Rat commun.	38,8	26,5	Idem.
Lièvre commun	37,8	26,5	Idem.
Ichneumon.	39,4	27	Idem.
Tigre.	37,2	26,5	Kandy.
Chien.	39,0	»	Idem.
Idem	39,6	»	Idem.
Chacal	38,3	29	Colombo.
Chat commun	38,3	15	Londres.
Idem	38,9	26	Kandy.
Panthère.	38,9	27	Colombo.
Cheval (race arabe) . . .	37,5	26	Kandy.
Mouton	39,3 à 40,0	En été.	Écosse.
Idem	39,5 à 40,0	19	Cap de Bonne-Espérance.
Idem	40,0 à 40,5	26	Colombo.
Bouc	39,5	26	Idem.
Chèvre.	40,0	26	Idem.
Bœuf.	38,9	En été.	Édimbourg.
Idem	38,9	26	Kandy.
Élan femelle	39,4	25,6	Colombo.
Porc.	40,5	25,6	Dans le Doombera.
Éléphant.	37,5	26,7	Colombo.
Marsouin.	37,8	23,7	En mer; lat. 8°25' N.
Oiseaux.			
Milan	37,2	25,3	Colombo.
Chat-huant	40,0	15,6	Londres.
Perroquet	41,1	24	Kandy.
Choucas	42,1	31,5	Ceylan.

NOM DE L'ANIMAL.	La température en degrés centigrades.	Température ambiante.	LIEU DE L'OBSERVATION.
Grive commune.....	42,8	15,5	Londres.
Moineau commun	42,1	26,6	Kandy.
Pigeon commun.....	42,1	15,5	Londres.
Idem.....	43,0	25,5	Colombo.
Idem.....	43,5	25,5	Idem.
Poule de Jungles.....	42,0	25,5	Ceylan.
Idem.....	42,5	25,5	Idem.
Poule commune.....	42,5	4,5	Édimbourg.
Idem.....	43,3	25,5	Colombo.
Idem.....	42,2	25,5	Idem.
Coq vieux.....	43,3	25,5	Idem.
Coq adulte.....	43,9	25,5	Idem.
Poule de Guinée.....	43,9	25,5	Près de Colombo.
Coq d'Inde.....	42,7	25,5	Idem.
Pétrel.....	40,3	26	En mer; lat. 2°3′ N.
P. Capensis.....	40,8	15	Idem, lat. 34° S.
Oie commune.....	41,7	25,5	Près de Colombo.
Canard commun.....	43,9	25,5	Idem.
Amphibies.			
Tortue.....	28,9	26	En mer; lat. 2°27′ N.
Idem.....	29,1	32	Colombo.
Tortue geometrica.....	16,9	16	Cap de Bonne-Espérance.
Idem.....	30,5	26,6	Colombo.
Rana ventricosa.....	25,0	26,7	Kandy.
Iguana.....	29,0	27,28	Colombo.
Serpent.....	31,4	27,5	Idem.
Idem.....	29,2	28,3	Idem.
Idem.....	32,2	28,3	Idem.
Poissons.			
Requin	25,0	23,7	En mer; lat. 8°23′ N.
Bonite, au cœur.....	27,8	27,2	Idem, lat. 1°14′ S.
Id., dans les muse. intér.	37,2	27,2	Idem.
Truite commune	14,4	13,3	Près d'Édimbourg.
Poisson volant	25,5	25,3	En mer; lat. 6°57′ N.
Mollusques.			
Huître commune.....	27,8	27,8	Près de Colombo.
Limaçon.....	24,6	»	Kandy.

NOM DE L'ANIMAL.	La température en degrés centigrades.	Température ambiante.	LIEU DE L'OBSERVATION.
Crustacés.			
Écrevisse.....	26,1	26,7	Colombo.
Crabe.....	22,2	22,2	Environs de Kandy.
Insectes.			
Scarabée.....	5,0	24,3	Kandy.
Ver luisant.....	23,3	22,8	Idem.
Blatta orientalis.....	23,9	28,3	Idem.
Idem.....	23,9	23,3	Idem.
Grillon.....	22,5	16,7	Cap de Bonne-Espérance.
Gnépe.....	24,4	23,9	Kandy.
Scorpion.....	25,5	26,1	Idem.
Julus.....	28,8	26,6	Idem.

De la faculté que possèdent l'homme et les animaux de résister aux effets de la température extérieure.

Toutes les expériences faites sur la température de l'homme et des animaux démontrent que la faculté qu'ils possèdent de produire de la chaleur est plus ou moins développée, suivant la classe à laquelle ils appartiennent; c'est pour ce motif qu'on les a rangés en deux classes : la première comprend les animaux à sang chaud; la deuxième, les animaux à sang froid. Les premiers possèdent une température supérieure à celle de l'air ambiant, ou de l'eau dans laquelle ils vivent; les autres ont une température peu différente de celle de l'air. En tête de la première classe se trouvent les oiseaux, puis les mammifères et les cétacés: ces derniers ont une température égale et même supérieure à celle de plusieurs autres mammifères; les insectes et les amphibies. On range dans la seconde classe les poissons, les mollusques et les crustacés.

Si la faculté de produire de la chaleur est bien développée dans l'homme et les animaux, ils ne possèdent pas à un degré aussi marqué celle de résister à une chaleur extérieure, car on a vu sous l'équateur des hommes mourir presque subitement quand la température approchait de 40°. Néanmoins, nous rappellerons les expériences de Banks, Blagden et Forditts, qui sont restés quelques instants exposés à une

température de 52° centig., sans trouver de changement sensible dans leur température, évaluée probablement d'après celle de la bouche.

Berger et Delaroche s'étant soumis à une température de 49°, ont trouvé la leur augmentée de 4°; Delaroche étant resté seul dans une étuve à 90°, pendant seize minutes, a constaté que la sienne ne s'était accrue que de 5°. Le capitaine Parry rapporte que dans les régions polaires, où la température est plus basse que celle de la congélation du mercure, la température de l'homme n'est pas sensiblement modifiée. Cette dernière observation est contredite par John Davy et quelques autres, qui ont avancé que la température animale s'accroît des pôles à l'équateur.

Nous nous sommes occupés, de concert avec M. Breschet, à étudier avec les appareils thermo-électriques comment varient les températures des muscles, quand le corps est exposé à une température supérieure à 40°. Les expériences ont été faites aux bains de Louëch (en Valais), avec le secours de M. Séguin, élève en médecine, qui a bien voulu se prêter à nos expériences avec un dévouement pour la science au-dessus de tout éloge. La température à laquelle il fut soumis était de 42° centig. : l'appareil Sorel marquait 35°,50 : l'une des soudures y fut placée, et l'autre dans le muscle biceps du bras droit. La déviation de l'aiguille aimantée fut alors de 12° en faveur du muscle, ce qui indiquait une température de 36°,70 pour ce dernier. M. Séguin, placé dans le bain à 42°, y resta vingt minutes; la déviation de l'aiguille aimantée varia de 12 à 13, à 14°, suivant que l'aiguille était plus ou moins rapprochée de l'eau. La température des muscles était donc augmentée de $\frac{3}{5}$ à $\frac{7}{3}$ de degré. Au sortir du bain, la déviation de l'aiguille aimantée revint à 12°, comme auparavant. Le pouls de M. Séguin battait 112 pulsations par minute dans le bain. On a obtenu le même résultat sur un jeune charpentier tyrolien, vigoureusement constitué.

Nous n'avons pas voulu continuer les expériences, dans la crainte de compromettre la santé des personnes qui s'y prêtaient; mais nous les avons répétées à Paris, à une température un peu inférieure à 49°, avec l'aide de M. Séguin et de M. Costille. Une des soudures a été mise dans la bouche de M. Costille, dont la température était de 37°,50, mesurée au thermomètre, l'autre dans le muscle biceps du bras droit de M. Séguin. La déviation de l'aiguille aimantée fut de 2° en faveur de la bouche, ce qui indiquait une température de

37°,10 pour le muscle. M. Séguin fut mis dans un bain à 42°,50, et y resta pendant vingt minutes. La température du muscle ne changea pas, puisque la déviation de l'aiguille aimantée resta la même.

Nous pouvons conclure des faits observés, que les résultats obtenus par Delaroche, qui, dans une expérience, s'était placé dans une étuve à 109°, sont dus en partie aux phénomènes de la respiration, qui modifient la température de la bouche.

Voyons les tentatives que l'on a faites pour expliquer la faculté que possèdent les corps vivants de résister à la chaleur. Franklin a supposé cet effet dû à l'évaporation produite par la transpiration cutanée et pulmonaire.

Delaroche, pour vérifier cette conjecture, a placé des animaux dans un milieu tellement saturé d'humidité qu'aucune évaporation ne pouvait s'y produire. Ces animaux n'ont pu supporter, sans périr, qu'une chaleur un peu plus élevée que la leur, et se sont échauffés comme s'ils n'avaient plus aucun moyen de se refroidir. Ainsi, la supposition de Franklin paraît justifiée par l'expérience.

D'après cela, pour évaluer très-exactement la chaleur animale, il faut tenir compte de la température et de l'humidité ambiantes, et prendre le degré de chaleur des diverses parties.

Des expériences pleines d'intérêt de W. Edwards ont jeté quelque jour sur les causes qui modifient la température des animaux.

La température de petits chiens nouveau-nés, à la mamelle, a été trouvée presque égale à celle de leur mère. Quand l'animal est éloigné de sa mère pendant une heure ou deux, on trouve qu'à la température de 10 à 12° de l'air, la température propre baisse beaucoup, et que cet abaissement continue jusqu'à ce qu'il s'arrête à un petit nombre de degrés au-dessus de la température ambiante.

Le défaut de nourriture n'est pour rien dans cet effet, qui a lieu aussi sur d'autres animaux. Suivant W. Edwards, il paraîtrait que la production de la chaleur est la même chez les jeunes animaux et chez les adultes, mais que les conditions de refroidissement dépendantes de l'enveloppe n'étant pas les mêmes dans les deux corps, il en résulte une température propre différente. Le lapin, par exemple, qui naît la peau presque nue, doit se refroidir plus vite que les chats et les chiens nouveau-nés. Mais la différence de l'enveloppe n'est pas la seule cause principale du refroidissement, comme on le prouve en les entourant d'une enveloppe artificielle. Dans ce cas, ils se refroidissent encore au même degré, seulement le refroidissement est

plus lent. M. Edwards est conduit par là à admettre que l'abaissement de température provient de la production de moins de chaleur dans un temps donné.

Les oiseaux, qui ont, en général, une chaleur plus élevée de 2 à 3° que les mammifères, présentent également l'abaissement de température chez les adultes lorsqu'ils sont isolés. De jeunes oiseaux se refroidissent rapidement, et leur température, dans l'espace d'une heure, baisse de 36° à 19°, et cela dans un milieu dont la température est d'environ 22°. Cet effet est dû, comme pour les jeunes mammifères, à ce que les jeunes oiseaux ne produisent pas autant de chaleur que les adultes.

Les saisons paraissent être sans influence sur la température; W. Edwards n'a pas remarqué de différence dans la température des animaux à sang chaud en été et en hiver.

En plaçant des animaux de même espèce, non hibernants, dans les mêmes conditions de refroidissement en été et en hiver, il a obtenu les résultats suivants en opérant sur cinq moineaux adultes : « Il y a un changement considérable dans la constitution de ces animaux par l'influence des saisons; l'élévation soutenue de la température diminue leur faculté de produire de la chaleur, tandis que l'état opposé de l'atmosphère l'augmente, pourvu que le froid ne soit pas trop rigoureux. » Prenons maintenant en considération tout ce qui a été dit précédemment, pour montrer comment, dans l'état actuel de la science, on doit envisager la production de chaleur animale.

Des causes qui concourent à la production de la chaleur animale.

Les physiciens qui se sont occupés jadis de cette grande question, ont admis qu'il s'opère une véritable combustion dans les poumons; aussitôt que l'oxygène de l'air respiré est en contact avec le sang veineux, celui-ci abandonne une portion de son carbone, et peut-être de l'hydrogène, pour former de l'acide carbonique et de l'eau, d'où résulte de la chaleur. Cette opinion, émise par Priestley, Lavoisier, Davy, Dulong, Despretz, etc., est aujourd'hui abandonnée; mais il ne suffisait pas de connaître la cause génératrice de la chaleur, il fallait encore montrer comment elle se répand uniformément dans toutes les parties du corps, de manière que chacune d'elles possède une température constante, dépendant de sa position par rapport au cœur, quand aucune cause extérieure ne vient troubler son état d'équilibre.

Pour rendre compte de cette distribution de la chaleur, on eut recours à des suppositions; on admit que la plus grande partie de la chaleur dégagée dans l'acte de la respiration était absorbée immédiatement par le sang artériel, dont la capacité pour la chaleur était plus grande que celle du sang veineux. Cette chaleur, se trouvant à l'état latent dans le sang artériel, devenait chaleur sensible dans le cours de la circulation, au fur et à mesure que le sang artériel était converti en sang veineux. Des expériences de Crawford sur la différence entre la capacité calorifique du sang artériel et celle du sang veineux avaient servi de base à cette théorie; mais dès l'instant que l'on reconnut que ces expériences n'étaient pas exactes, cette théorie, ne reposant plus que sur une hypothèse, fut abandonnée.

Nous allons reprendre cette question en faisant concourir à sa solution toutes les données que la science peut nous fournir. Quand on veut remonter aux causes d'où émane la chaleur animale, il faut commencer par rechercher la quantité de chaleur produite dans un temps donné par chaque individu, afin de voir jusqu'à quel point les effets chimiques produits pendant la respiration peuvent rendre raison de la chaleur dégagée. Le calorimètre de Lavoisier, dont lui-même s'est servi le premier pour les expériences de ce genre, est l'appareil qui convient le mieux. Nous allons en donner ici la description, tel qu'il a été modifié par M. Despretz, en décrivant en même temps le mode d'expérimentation employé pour exécuter le travail sur la chaleur animale, lequel a été couronné par l'Académie des sciences, et en prévenant le lecteur que ce physicien ne paraît pas s'être mis en garde contre les effets du refroidissement qu'éprouve un animal à l'état de repos quand il se trouve dans un milieu dont la température est beaucoup plus basse que la sienne. Cet appareil se compose de trois parties principales : 1° d'un gazomètre fournissant à l'animal l'air dont il a besoin pour respirer; 2° d'une caisse ou boîte renfermant l'animal, et d'un second gazomètre destiné à recueillir le gaz expiré. La figure 16, pl. VII, représente ces trois parties, ainsi que les divers accessoires de l'appareil. A, réservoir de l'air à respirer et gradué avec soin. H et F, tubes latéraux destinés à faire connaître le volume des gaz. Z, thermomètre. I, manomètre destiné à faire connaître la température et l'élasticité du gaz; *a* entonnoir, placé au-dessus du gazomètre, et entretenu constamment plein d'eau au moyen de la communication avec un cuvier L qui reçoit lui-même son eau d'un grand cylindre *p*. Quand on veut faire sortir du gaz, on ouvre le robinet de l'entonnoir *a*; l'eau

en tombant chasse le gaz dans le tube R; au moyen des dispositions prises, la vitesse du gaz est toujours la même pendant que dure l'écoulement; toutes les précautions sont prises pour que les gazomètres ne laissent échapper aucune portion de gaz. Une cage en osier est placée dans la boîte afin de séparer l'animal des parois en cuivre.

Un thermomètre q et un autre t donnent la température de l'air à son entrée et à sa sortie de la boîte. L'air, après sa respiration, est reçu dans un gazomètre C, composé d'un grand cylindre en fonte, d'un pied environ de diamètre, dans l'intérieur duquel se trouve un cylindre en bois de deux décimètres; l'intervalle entre les deux cylindres est rempli de mercure, et le cylindre de fonte est fermé par un couvercle de même métal. Le cylindre en bois est enveloppé par un autre creux, en cuivre, mobile; le premier plonge également dans le mercure; mais à mesure que le gaz arrive dans son intérieur, il soulève un contre-poids v, formé d'un seau vide qui se remplit peu à peu, au moyen d'un second seau rempli d'eau, avec lequel il communique au moyen d'un siphon étroit.

Les règles F et D, divisées en parties égales, font connaître exactement le volume du gaz. La flexibilité du tuyau de communication en plomb, C, T, permet au cylindre de cuivre de monter sans qu'aucune partie de l'appareil soit dérangée. Des supports en bois α, β, γ, sont destinés à soutenir le tuyau de plomb.

Au moyen du manomètre l'on reconnaît si la pression intérieure du gazomètre est la même que la pression extérieure. Aussitôt que le gaz du réservoir A est chassé, on mesure le volume du gaz respiré, dont on connaît la température au moyen du thermomètre x. En fermant les robinets et exerçant une pression sur le cylindre de cuivre, on chasse par le tube L le gaz que l'on reçoit sur le mercure dans une éprouvette, afin de le soumettre à l'analyse. La capacité du gazomètre est de 50 à 60 litres.

Dans l'appareil employé par Dulong, le gaz était reçu dans un gazomètre plein d'eau, où il était défendu de l'action dissolvante du liquide par un flotteur, tandis que dans l'appareil de M. Despretz, le gaz est reçu immédiatement sur le mercure, ce qui évite toute cause d'erreur.

Si l'on compare la chaleur dégagée par un animal à sang chaud, dans un temps donné, avec la chaleur dégagée par l'acide carbonique et l'eau formés pendant la respiration du même animal, dans le même temps, et en s'appuyant sur les résultats de l'expérience, savoir : que 1 kilog. de charbon dégage, en brûlant, 7914° de cha-

leur; 1 kilog. d'hydrogène, 23640°, on trouve, en analysant le gaz respiré, qu'outre l'oxygène employé à la formation de l'acide carbonique, une autre portion de ce gaz, quelquefois très-considérable relativement à la première, disparaît aussi, et que cette disparition est plus grande pour les jeunes animaux que pour les adultes; 2° qu'il y a émission d'azote dans la respiration des mammifères carnivores et frugivores, ainsi que dans celle des oiseaux; et que la quantité d'azote exhalée est plus grande chez les frugivores que chez les carnivores; 3° que dans le dégagement de la chaleur animale, la respiration produit chez les carnivores une portion moins considérable de chaleur totale que chez les frugivores; qu'il en est de même des oiseaux comparés aux mammifères, et que dans la respiration des grenouilles il y a également dégagement d'azote. Enfin, que la respiration, quoique étant la cause du développement de la chaleur animale, n'est pas la seule, et qu'il faut la chercher dans le mouvement du sang, le frottement de diverses parties ou le système nerveux. Dulong a trouvé de son côté que la respiration ne rendait pas compte de la chaleur totale. Nous rapportons ici une des expériences de M. Despretz, à l'aide desquelles il a tiré les conséquences précédentes.

Lapine âgée de plusieurs années.

Durée de l'expérience, 1 h. 36'. Volume d'air fourni

$$\text{à } 8^\circ,27 = 47^{\text{lit.}},993 \begin{cases} 10^{\text{l.}},079 \text{ oxygène.} \\ 37,914 \text{ azote.} \end{cases}$$

Après l'expérience :

$$47^{\text{lit.}},852 \begin{cases} 3,076 \text{ acide carbonique.} \\ 6,023 \text{ oxygène.} \\ 38,743 \text{ azote.} \end{cases}$$

Acide formé.....	$3^{\text{lit.}},076$
Azote dégagé.....	0, 829
Oxygène disparu.....	0, 980

Oxygène disparu $= \frac{1}{3}$ litre de l'acide formé $= \frac{1}{4}$ de l'oxygène total consommé.

Azote dégagé $= \frac{4}{3}$ de l'oxygène disparu $= \frac{8}{31}$ de l'acide formé.

Voici comment M. Despretz interprète ces résultats :

La masse d'eau employée tant dans la caisse en cuivre que dans celle qui renfermait l'animal était = à 25387,5 grammes. Cette masse d'eau, ayant reçu une élévation de température de 0°,703, il en résulte que 25387 multipliés par 0°,703 sera la quantité totale de

chaleur émise par l'animal pendant l'expérience; cette quantité est représentée par 100.

On détermine la quantité de chaleur dégagée dans la formation de l'acide carbonique pendant le même temps, en se rappelant que 1 gramme de carbone, en se combinant avec l'oxygène pour former du gaz acide carbonique, dégage une quantité de chaleur capable d'élever d'un degré 7914 gr. d'eau. Or, la composition de l'acide carbonique étant connue, on a le carbone qui entre, et par conséquent la chaleur dégagée par la combustion du carbone du sang veineux dans les poumons. En effectuant ce calcul, on trouve que cette chaleur est les $\frac{682}{1000}$ de la chaleur totale émise par l'animal. L'expérience montre en outre, que $0^{lit.},980$ d'oxygène ont disparu pour former probablement de l'eau. La composition de l'eau étant connue, on peut déterminer aisément la quantité d'hydrogène brûlé: or, comme une partie d'hydrogène en poids dégage en brûlant 23640° de chaleur, il s'ensuit que cette chaleur est les $\frac{212}{1000}$ de la chaleur animale.

En résumé, on a :

Chaleur animale		100,0
Chaleur due à la formation de l'acide carbonique	68,2	89,4
Chaleur due à la formation de l'eau	21,2	
Différence		10,6

Lavoisier, dans un deuxième mémoire sur la respiration, avait aussi admis que tout l'oxygène absorbé n'étaut pas employé à produire de l'acide carbonique, il fallait qu'une portion se combinât avec l'hydrogène du sang pour former de l'eau.

Dans une autre expérience faite sur six petits lapins de quinze jours, M. Despretz a obtenu les résultats suivants :

Chaleur animale		100,0
Chaleur due à la formation de l'acide carbonique	58,5	82,1
Chaleur due à la formation de l'eau	23,6	
Différence		17,9

Dans toutes les expériences, la chaleur de la respiration n'a pas été au-dessus de $\frac{7}{8}$ ni au-dessous de $\frac{9}{10}$ de la chaleur émise par l'animal. Le rapport de $\frac{7}{10}$ n'a été donné que par de très-jeunes animaux qui perdaient parfois une partie de leur chaleur propre.

Les expériences de M. Despretz conduisent aux conséquences suivantes:

1° Que depuis vingt ans jusqu'à l'âge le plus avancé, l'homme

a une température que l'on peut considérer comme sensiblement constante ;

2° Que les enfants nouveau-nés (1 à 2 jours) ont une température qui est d'environ 2° supérieure à celle de l'homme.

3° Que l'homme adulte a une température plus élevée que celle des enfants, et qu'il en est de même des adultes comparés aux jeunes animaux. Les expériences précédentes mettent bien en évidence ce fait fondamental, que la respiration pulmonaire a la plus grande part dans la production de la chaleur animale ; mais on se demande aussitôt si la réaction de l'oxygène de l'air respiré sur le carbone du sang a lieu dans les poumons mêmes ou dans le trajet des vaisseaux artériels ; c'est ce dont nous allons nous occuper ; mais avant, il faut rapporter les expériences faites pour combattre la théorie adoptée de la respiration. Brodie, en 1811, chercha à prouver que lorsqu'on décapite un animal, si l'on maintient la respiration par des moyens artificiels, le sang circule comme à l'ordinaire ; il se forme dans les poumons la même quantité d'acide carbonique, et cependant la chaleur diminue plus vite dans cet animal que dans un autre de même espèce qui a été tué, mais non soumis à une respiration artificielle. Il tira de là plusieurs conséquences qui tendaient toutes à prouver que la respiration ne devait pas être considérée comme l'acte immédiat de la chaleur ; mais Legallois réfuta cette doctrine en prouvant que la décapitation débilitait le système nerveux, dont l'action ne pouvait pas être supprimée sans qu'il y eût trouble dans toute l'économie. Il conclut des expériences qu'il fit, en comparant le refroidissement qui survient dans les animaux décapités, que l'on entretient vivants par l'insufflation pulmonaire, avec celui qui a lieu pendant le même temps après la mort chez des animaux de même espèce et de même poids ; il conclut, dis-je, 1° que les animaux dont on prolonge en quelque sorte la vie après avoir été décapités, se refroidissent considérablement comme on l'avait observé, mais que très-souvent ils conservent une température de 3° centigrades supérieure à celle des animaux morts ; 2° que l'insufflation pulmonaire, pratiquée dans des animaux entiers et sains, suffirait pour abaisser leur température, et qu'il était possible de faire mourir ainsi de froid en continuant l'opération pendant un certain temps ; enfin que tout ce qui gêne ou dénature la respiration produit un effet semblable. Cette dernière conséquence est en effet confirmée par ce fait, qu'en tenant un animal couché sur le dos, il ne tarde pas à se refroidir, et qu'on peut ainsi le faire mourir de froid.

Legallois reconnut encore que l'air raréfié jusqu'au point de faire baisser le baromètre de 30 cent., suffirait pour faire baisser la température d'un animal. Le froid que l'on éprouve sur les hautes montagnes ne devrait pas être attribué à la température de l'atmosphère, mais bien à une cause intérieure qui se rattacherait à la manière dont s'opère la respiration. Nous citerons en outre des faits qui prouvent l'influence nerveuse sur le dégagement de la chaleur dans l'acte de la respiration. Si l'on lèse ou que l'on détruise le cerveau d'un animal, ou bien encore que l'on le paralyse plus ou moins avec des poisons énergiques, on affaiblit l'action du système nerveux jusqu'à la détruire complétement, et l'animal se refroidit jusqu'à la mort. Voilà bien l'influence nerveuse démontrée dans la production de la chaleur.

Chossat a spécifié d'une manière toute particulière l'influence du système nerveux sur la chaleur animale. Nous rapporterons en conséquence les principaux résultats de ses recherches. 1° Quand un chien meurt dans un bain à une température de —26°, on trouve à l'autopsie l'anéantissement à peu près complet de l'irritabilité musculaire et du mouvement péristaltique. 2° Dans un animal mort de syncope, par suite de la section de la moelle épinière, la température, qui, au moment de la mort était de 40°,5, a mis 3 heures et demie pour descendre de 40° à 31°,7, et 7 heures pour arriver à la température de 23°,9. 3° En produisant des lésions dans le cerveau par trois moyens différents, qui n'interrompaient point la respiration et laissaient le poumon sous l'influence de la huitième paire, dans les trois cas, la mort s'en est suivie la douzième heure, avec tous les caractères de la mort par le froid, et la même marche dans le refroidissement. 4° En opérant la section des nerfs pneumogastriques, l'abaissement de température a été dix fois plus rapide que dans les expériences relatives aux lésions de cerveau. De là, Chossat a conclu qu'après la section de la huitième paire, la production de la chaleur s'effectue toujours, quoiqu'en moindre proportion, tant que la température du corps est supérieure à 32° ; au-dessous de ce terme, le corps se refroidit comme un simple cadavre. 5° Toutes les sections pratiquées dans la portion cervicale de la moelle épinière donnent les mêmes résultats. En effet, on retrouve dans toute l'étendue de cette portion le même abaissement moyen de température qu'en opérant des lésions dans le cerveau. Ce résultat montre, contrairement à l'opinion de Brodie, que l'on ne devait pas considérer la chaleur animale comme étant sous la dépendance immédiate du

cerveau. 6° Les sections de la portion dorsale de la moelle épinière montrent que la température baisse en général d'autant moins rapidement que la section a été pratiquée dans un espace intervertébral plus inférieur ; et que l'abaissement étant d'autant plus rapide que la section paralyse un plus grand nombre de nerfs, on doit attribuer à cette paralysie le décroissement assez régulier de température observé dans les premières expériences. Enfin, les expériences de Chossat tendent à montrer l'influence de la section de la huitième paire sur la chaleur animale.

Poursuivons la discussion des faits.

La respiration est sans aucun doute la cause principale de la production de la chaleur animale; ses effets nous sont révélés par deux faits généraux, l'absorption de l'oxygène de l'air respiré, et l'exhalation d'acide carbonique. L'oxygène, en se combinant avec le carbone du sang ou des tissus, produit de la chaleur, et donne naissance à du gaz acide carbonique qui se dégage. Il y a donc une véritable combustion. Mais où s'opère-t-elle? est-ce seulement dans les poumons, ou bien dans toutes les parties de l'organisme? c'est ce que nous allons examiner sous le point de vue physique et physiologique.

De nombreuses expériences ont démontré que tout ce qui peut affaiblir l'action nerveuse, appauvrir la richesse du sang et atténuer la transformation du sang artériel en sang veineux, diminue également la production de chaleur dans le même individu, et dans un temps donné. L'influence de l'action nerveuse a été démontrée précédemment; quant à celle de la richesse du sang, on a reconnu que plus il est chargé de particules solides, de fibrine et de globules, plus sa température est élevée; ainsi les oiseaux, dont le sang contient 14 ou 15 pour cent de ces globules, tandis que les mammifères n'en ont que 12, possèdent la température la plus élevée; au contraire le sang des animaux à sang froid n'en renferme que 6, aussi ont-ils une température bien inférieure à celle des mammifères.

On concevra maintenant l'influence de la transformation du sang veineux en sang artériel; c'est un phénomène physico-chimique tellement simple, qu'il suffit de l'énoncer. Tout tend à faire attribuer la production de chaleur à l'action exercée par le sang artériel sur les tissus, sous l'influence des causes signalées ci-dessus. Cette production paraît avoir lieu partout où il y a des tissus, et non pas seulement dans les poumons, où l'on croyait jadis que s'opérait une véritable oxydation.

C'est en effet le seul moyen d'expliquer comment toutes les parties peuvent conserver leur température propre, malgré les causes inces-

santes de perte de chaleur qui ont lieu dans les milieux ambiants. D'un autre côté, comme il s'opère des réactions chimiques dans tout l'organisme, et que ces réactions dégagent de la chaleur, celle-ci doit concourir à la température locale. Ainsi dans les parties où la vie est moins active, où le sang circule avec moins de force, le dégagement de chaleur doit être moins abondant ; les organes les plus distants du cœur sont ceux dont la température est moins élevée. L'acide carbonique, une fois formé dans les tissus, est absorbé par le sang veineux qui le transporte dans les poumons, d'où ce gaz est chassé et remplacé par l'oxygène : la respiration, on le voit, est donc la cause principale de la chaleur animale. Les faits suivants ne laisseront aucun doute à cet égard.

On a abandonné l'ancienne théorie de la respiration, qui consistait à considérer le sang veineux comme se transformant en sang artériel, avec formation d'acide carbonique, lequel sang, dans le cours de la circulation, redevenait sang veineux pour subir de nouveau la même métamorphose, depuis que l'on a reconnu que l'acide carbonique existe tout formé dans le sang veineux, et qu'il est exhalé à la surface du poumon pendant que l'oxygène de l'air et une petite quantité d'azote sont absorbés par le même organe et se dissolvent dans le sang veineux, qui acquiert alors tous les caractères distinctifs du sang artériel. Les recherches de W. Edwards et de M. Magnus ont servi à établir cette nouvelle doctrine. C'est ce dernier qui a prouvé que le sang avait la propriété de dissoudre une certaine quantité des gaz avec lesquels on le met en contact; que lorsqu'il est saturé d'un gaz et qu'on veut lui en faire absorber un autre, il abandonne une certaine partie du premier. Si donc le sang veineux est introduit dans un flacon avec du gaz hydrogène, il se dégage du gaz acide carbonique, qui est remplacé par une quantité correspondante d'hydrogène; avec de l'oxygène on obtient un résultat semblable, mais alors le sang perd sa teinte rouge sombre pour prendre celle de rouge vermeil qui est propre au sang artériel : on reproduit donc par un moyen mécanique, hors de l'influence de la vie, la transformation du sang veineux en sang artériel. Il paraît démontré maintenant que la respiration est tout simplement un phénomène d'absorption et d'exhalation, par suite duquel le sang veineux, aussitôt qu'il est en contact avec l'air, abandonne son acide carbonique et prend à la place de l'oxygène. Telles sont les conséquences rigoureuses que l'on peut tirer des expériences faites jusqu'ici dans le but de remonter aux causes qui concourent à la production de la chaleur animale; il ne nous reste plus maintenant, pour compléter cette ques-

tion, qu'à rapporter l'opinion émise par M. de la Rive sur l'origine électro-chimique de la chaleur animale. Les rapports qui peuvent exister entre les forces électriques et celles qui président aux diverses fonctions organiques des animaux et des végétaux ont déjà été l'objet de quelques recherches de notre part. Cette question, il faut en convenir, est une des plus complexes que la physique appliquée puisse se proposer de résoudre. Les forces vitales sont-elles d'une nature électrique ou chimique ? L'organisme n'est-il pas régi par des forces *sui generis*, ou bien la vie, ce qui est le plus probable, n'est-elle pas le concours de toutes ces forces ? C'est cette dernière opinion qui dominera toujours dans cet ouvrage.

Jusqu'ici le fluide électrique n'a été employé dans l'étude des phénomènes physiologiques que comme puissance excitatrice produisant des contractions dans le système musculaire, ou bien comme agent chimique modifiant d'une manière quelconque les actions des organes, ainsi que les sécrétions qui en sont la conséquence. Dans le premier cas on a reconnu qu'il agissait comme le frottement, les acides et autres agents, seulement avec plus d'énergie; et dans le deuxième, qu'il luttait avec avantage ou désavantage contre les forces vitales, selon que son action tendait à favoriser ou à contrarier l'action de ces forces et la formation des sécrétions et autres produits. Les rapports intimes existant entre l'électricité et la chaleur sont tels, que l'on peut les invoquer pour essayer de remonter aux causes du dégagement de la chaleur dans les actions chimiques en général, et en particulier dans les phénomènes de la vie. Il est bien établi par l'expérience, en effet, que lorsque l'électricité, en se propageant dans les corps, rencontre des obstacles capables d'en arrêter une portion, il y a là, où se trouvent ces obstacles, production de chaleur; réciproquement, lorsque la chaleur se propage, si elle rencontre un obstacle qui s'oppose à sa libre circulation, il y a séparation des deux électricités qui, par leur réunion, forment du fluide neutre, lequel, suivant toutes les apparences, n'est que l'élément de la chaleur et de l'électricité. Tels sont les principes qui ont servi de base aux idées théoriques dont nous allons parler.

M. de la Rive a envisagé la question sous ce point de vue : il part du principe que lorsqu'on réunit, au moyen d'un conducteur, les deux extrémités d'une pile, il y a dégagement de chaleur toutes les fois que l'électricité dégagée ne peut pas circuler librement, et cela d'autant plus que le corps est plus mauvais conducteur. Le sang, en arrivant dans les poumons, se charge d'oxygène qu'il cède, dans la circulation,

aux substances capables de s'oxyder. Si, parmi ces substances, il y en a qui soient les unes plus oxydables et les autres moins oxydables, et qu'elles se trouvent réunies par des filets très-deliés, tels que les derniers filaments nerveux, susceptibles, non-seulement par leur nature dans leur état de vie, de conduire le fluide électrique, mais aussi, par leur petitesse, de gêner son passage, n'aurons-nous pas ainsi une suite d'appareils voltaïques simples qui produiront de la chaleur partout où il y aura du sang artériel pour fournir de l'oxygène; n'aurons-nous pas, disons-nous, deux substances animales de différente nature, et des filaments qui réunissent ces substances? Il y aura donc production de chaleur dans tout le corps, partout où il y a des nerfs et des artères. Cette manière de voir, comme on le voit, n'est qu'une application de la théorie mise en avant depuis longtemps, dans le but de montrer que la chaleur a une origine électrique : quand cette origine sera bien établie, on sera forcé de l'admettre également pour la chaleur animale. L'exposé que nous venons de présenter des phénomènes principaux relatifs à la production de cette dernière, suffira pour donner une idée assez complète de l'état de nos connaissances sur l'une des parties les plus importantes de la physique appliquée à la physiologie.

De la température propre des végétaux.

Nous allons retrouver ici l'application du principe que partout où il y a vie, il se produit de la chaleur. Dans ces derniers temps, on ne s'était occupé de la chaleur des plantes que dans quelques cas de floraison où il y avait une émission de chaleur qui pouvait être appréciée avec les thermomètres ordinaires; alors les appareils manquaient pour étudier la chaleur dans toutes les parties du végétal. On avait remarqué par exemple que l'*arum vulgare* dégageait de la chaleur à une époque déterminée de sa floraison, et que le phénomène n'avait lieu qu'une seule fois pour chaque chaton; qu'il commençait vers trois heures de l'après-midi, atteignait son maximum vers cinq heures, et cessait vers sept heures; sa température était d'environ 7° au-dessus de celle ambiante. On savait encore que l'*arum cordifolium* de l'Ile-de-France acquiert une température de 44° et même 49, celle de l'air étant 19°. Cette émission de chaleur ne pouvait être attribuée qu'à une grande activité dans la combinaison de l'oxygène de l'air avec le carbone de la plante. Ces expériences, et d'autres analogues, ont été faites avec le thermomètre ordinaire. On a même employé, dans quelques cas, le thermoscope, qui permet

d'observer une élévation de température d'une fraction de degré; c'est ainsi que M. de Saussure a reconnu que les fleurs mâles du *cucurbita meilopepo* donnent entre sept et huit heures du matin une élévation de $\frac{1}{2}$ degré; les fleurs de *bignonia radicans* un degré, celles de tubéreuse $\frac{1}{10}$ de degré, etc.

Arrêtons-nous un instant sur les principales actions physiques et chimiques qui s'opèrent dans un végétal, afin de voir quels peuvent être les effets généraux de chaleur. Nul doute que les plantes ne respirent par l'intermédiaire des feuilles, et que dès lors il ne doive y avoir dégagement de chaleur pendant ce grand acte de la vie végétale comme dans celui de la vie animale. Il doit donc y avoir, pendant la décomposition du gaz acide carbonique, sous l'influence de la lumière solaire, production de chaleur, ainsi que pendant la formation des divers produits que l'on trouve dans les végétaux; mais, d'un autre côté, il y a abaissement de température par suite de l'évaporation d'une portion de l'eau absorbée et de l'exhalaison de l'oxygène au soleil. On ne peut connaître la différence entre l'élévation de température et l'abaissement qu'avec des appareils thermo-électriques, du moins dans le plus grand nombre de cas, attendu que cette différence, comme on le verra plus loin, est très-faible et ne peut être appréciée que par des appareils extrêmement délicats. On a recueilli cependant quelques observations faites avec un thermomètre, mais dans les cas seulement où les différences observées étaient de quelques degrés. C'est ainsi que J. Hunter, ayant introduit un thermomètre dans un trou oblique de 30 cent. de profondeur, pratiqué dans un tronc de noyer de 2 mètres 40 cent. de circonférence, et ayant mastiqué l'orifice du tronc, trouva qu'en automne son instrument marquait 2 ou 3° de plus que l'air ambiant; mais rien ne prouve que cette différence fût due à la chaleur propre de l'arbre, attendu que le bois étant très-mauvais conducteur de la chaleur, surtout dans le sens de la section perpendiculaire à la tige, l'intérieur du tronc ne pouvait participer que très-difficilement aux variations de température de l'atmosphère. Cette explication a été confirmée par des observations faites à New-York par Schœpf, en Suède par Birkander, et qui prouvent que de l'automne au printemps la température de l'arbre est plus élevée que celle de l'air ambiant, et que du printemps à l'automne c'est l'inverse. Ces faits ont été constatés encore dans d'autres localités.

Une autre expérience due à M. Hermstœdt, tout en confirmant l'existence d'une chaleur centrale dans les végétaux, vient encore à l'appui de l'opinion précédemment émise. Cet observateur a vu, au mois de

janvier, le suc, sorti à l'état liquide de troncs d'érable que l'on venait de perforer, geler aussitôt qu'il était exposé à l'air. Il est encore une autre cause, influant sur la température intérieure, que la difficulté qu'éprouve l'intérieur de l'arbre à se mettre en équilibre de température avec le milieu ambiant; cette cause a été signalée par M. de Candolle. Nous allons en parler, parce qu'elle servira à montrer les difficultés que l'on rencontre dans les recherches relatives à la température propre des végétaux.

L'eau qui est aspirée par les racines, et qui s'élève verticalement dans le tronc, est au degré de température que le sol possède à la profondeur moyenne des racines de l'arbre; elle est donc plus chaude que l'air en hiver et plus fraîche en été; par conséquent, en s'introduisant dans le tronc, elle tend sans cesse à le réchauffer dans la saison froide, et à le refroidir comparativement à l'air dans la saison chaude. Si l'on joint à cela encore les effets observés par MM. Auguste de la Rive et Adolphe de Candolle, que le bois est plus mauvais conducteur dans le sens transversal que dans le sens longitudinal, on concevra comment il se fait que l'ascension de la sève mette continuellement le centre du tronc en équilibre de température avec le sol, tandis que la structure du corps ligneux de la périphérie au centre empêche le tronc de se mettre promptement en équilibre avec l'air ambiant. Il résulte évidemment de là que la température de l'intérieur du tronc doit être analogue à celle du sol où les racines plongent, c'est-à-dire, plus chaude que l'air en hiver et plus froide en été. Il faut donc de toute nécessité, dans la détermination de la chaleur végétale, tenir compte de cette cause perturbatrice et des causes déjà signalées, sans cela on court le risque de leur attribuer une portion de la chaleur propre des végétaux, c'est-à-dire, celle provenant des diverses élaborations qui ont lieu dans les parties intérieures des plantes. Si l'on remarque encore que l'évaporation est moindre en hiver, par suite de l'absence des feuilles et de la facilité bien plus grande avec laquelle le soleil réchauffe les troncs, quand ils ne sont plus ombragés par ces mêmes feuilles, on aura une idée des précautions à prendre pour étudier la température intérieure des végétaux.

Des appareils thermo-électriques destinés à l'étude des phénomènes calorifiques des plantes.

Ces appareils se composent, comme ceux employés dans les recherches de la température animale, de deux aiguilles mixtes, composées chacune, 1° d'une aiguille d'acier et d'une autre de cuivre soudées

par un de leurs bouts ; 2° d'un multiplicateur thermo-électrique très-sensible, et d'un fil d'acier terminé à chaque bout par une spirale servant à établir la communication entre les bouts d'acier de chaque aiguille mixte, tandis que les bouts de cuivre sont mis en relation avec le multiplicateur. Le mode d'expérimentation est le même que pour la chaleur animale, si ce n'est que l'on prend pour température constante celle de l'air, en se mettant en garde contre le rayonnement des objets extérieurs. Cependant il y a certaines précautions indispensables à prendre pour se mettre en garde contre les causes d'erreur signalées plus haut. L'expérience suivante montrera de suite l'importance de ces précautions.

La tige d'un arbuste fut transpercée avec un foret très-délié, pour y introduire la soudure d'une des aiguilles, tandis que l'autre soudure resta dans l'air ; l'aiguille introduite ne tarda pas à être altérée, du moins l'acier, et il en résulta un courant électro-chimique ; pour éviter cette action, on recouvrit les aiguilles de plusieurs couches de vernis à la gomme laque. Quant à l'autre soudure qui se trouvait dans l'air, elle était soumise à un rayonnement de la part des objets environnants auquel ne participait pas la soudure, de toutes parts enveloppée du tissu ligneux. Il résultait de là des effets tellement complexes, que l'aiguille aimantée du multiplicateur ne restait pas en repos. Pour parer à cet inconvénient, nous ne trouvâmes pas d'autre moyen que de placer la soudure libre dans une tige détachée du même arbuste, de même grosseur, et qui, n'étant plus soumise à la vie végétale, mettait à l'abri des effets du rayonnement qui était le même de part et d'autre. Par ce moyen, on pouvait observer les effets calorifiques dus aux élaborations de la sève et aux effets de l'évaporation ; mais rien n'est plus simple que de distinguer ces deux effets, c'est-à-dire, faire la part de la vie organique et celle de l'évaporation. On opère de la manière suivante, d'après M. Dutrochet.

On commence d'abord par éliminer l'évaporation de la sève qui produit un refroidissement. En général, cette précaution est indispensable ; mais dans l'expérience que nous avions faite, elle était inutile, attendu que la branche ayant été détachée nouvellement du végétal, devait avoir sensiblement dans son intérieur la même quantité de sève que la branche vivante, de sorte que dans les premiers instants de l'expérience les effets accusés par le galvanomètre ne devaient pas être compliqués de ceux du refroidissement produit par l'évaporation.

M. Dutrochet a pris un grand bocal fermé par un bouchon de liége,

dans lequel se trouvait un peu d'eau. Les deux soudures du circuit thermo-électrique étaient placées dans l'intérieur de ce bocal; l'une d'elles se trouvait dans une partie végétale tuée, au moyen de l'immersion dans l'eau chaude, puis refroidie; l'autre était introduite dans une partie végétale exactement semblable, mais vivante. Les aiguilles étaient enduites de gomme laque pour les préserver de l'oxydation et de l'action des acides; au moyen de cette disposition, la partie morte prenait la température ambiante de l'atmosphère, tandis que la vivante devait prendre cette même température dégagée du froid produit par l'évaporation.

Suivant M. Dutrochet, cette chaleur est de $\frac{1}{4}$ de degré dans son maximum, mais elle n'est le plus souvent que de $\frac{1}{2}$ de degré, ou même de $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{12}$ de degré. Les expériences ont été faites sur les jeunes tiges des végétaux, lorsque leur moelle est encore verte, dans les fleurs en bouton, dans les feuilles, lorsque leur épaisseur est suffisante pour que l'on puisse y placer l'aiguille, telles que les feuilles de plantes grasses. En outre, cette chaleur disparaît pendant la nuit ou pendant l'obscurité artificielle, et reparaît sous l'influence suffisamment continuée de la lumière; la chaleur propre des boutons et des fleurs persiste pendant la nuit. Enfin, plus la température extérieure est élevée, plus la chaleur propre des végétaux augmente; il faut faire les observations au-dessus de + 15°, et mieux encore au-dessus de 20, et c'est à l'heure du jour où il y a le plus de chaleur et le plus de lumière que la chaleur propre des végétaux atteint son maximum.

M. Dutrochet a constaté l'existence de la chaleur végétale dans les racines, dans les fruits et même dans les embryons séminaux : les gros cotylédons, quand ils sont verts, se prêtent facilement à cette observation; dans les champignons; dans les fleurs en bouton : celles-ci n'offrent de chaleur que lorsque la soudure est placée dans l'ovaire. Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur la température des plantes. Nous ferons quelques remarques à cet égard : les résultats obtenus dans les expériences précédentes sont tellement faibles, et l'appareil donnant quelquefois des indications provenant de causes étrangères que l'on ne peut pas toujours saisir, quand on ne connaît pas parfaitement l'appareil, qu'il serait à désirer que les expériences fussent répétées encore un grand nombre de fois pour être bien certain que les résultats généraux dussent être admis en physiologie.

De la température des fleurs.

Les appareils thermo-électriques peuvent être employés également à mesurer la température des fleurs, ainsi que l'ont montré MM. Vanbeck et Bergsma qui se sont servis de deux aiguilles, formées l'une d'un fil de platine, l'autre d'un fil d'acier, soudés à un de leurs bouts, les autres parties étant séparées par une lame d'ivoire et les bouts libres en communication avec un multiplicateur. L'aiguille avait été fixée dans une position horizontale, afin de pouvoir en introduire la pointe dans telle partie que l'on voulait du spadix. Un thermomètre, placé à côté, indiquait la température du milieu ambiant, et par conséquent celle des points de jonction non engagés; des écrans étaient placés de manière à éviter tout rayonnement extérieur. On obtint ainsi les résultats suivants : 1° le dégagement de chaleur dans les fleurs du *colocasia odorata* a lieu sur toute la surface visible du spadix, quoique avec une intensité différente dans ses diverses parties; 2° après l'épanouissement de la spathe, un dégagement de chaleur a lieu dans les fleurs mâles à un degré plus élevé que celle des autres parties du spadix à la même époque; 3° lors de l'émission du pollen, une augmentation de chaleur se manifeste dans les fleurs mâles avortées qui forment le cône charnu ou glanduleux du spadix, tandis que la température diminue en se rapprochant de celle de l'atmosphère. Le dégagement de chaleur de cette partie constitue une seule période de plusieurs jours, tandis que celui des fleurs mâles avortées offre plusieurs périodes distinctes et particulières jusqu'au dépérissement de la partie. Enfin, à chacune de ces périodes, ce dégagement est uniforme sur la surface des fleurs mâles comme sur celle des fleurs mâles avortées.

Les faits que nous venons de rapporter démontrent bien que dans la vie végétale comme dans la vie animale, il y a production de chaleur, laquelle est influencée par un grand nombre de causes qui doivent être prises en considération, si l'on ne veut pas être induit en erreur par quelques-unes d'entre elles produisant plus de chaleur que la vie végétale elle-même.

LIVRE IV.

DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

De la lumière solaire.

Nous ne devons pas envisager la lumière sous le même point de vue que dans les traités de physique, où l'on expose avec de grands développements tout ce qui concerne ses propriétés générales et ses lois, en faisant concourir à l'étude des premières et à la détermination des secondes l'analyse mathématique et les résultats de l'expérience. Dans cet ouvrage, nous nous attacherons de préférence à la production de cet agent dans toutes les circonstances où elle a lieu, ainsi qu'à ses propriétés physiques, chimiques, calorifiques, phosphorogéniques, et à leurs applications, en suivant la même marche que pour les autres agents impondérables précédemment décrits.

Quand on considère le nombre des sources de lumière naturelle ou artificielle que nous voyons ou que nous pouvons mettre en action sur notre globe, nous trouvons que ce nombre est bien limité relativement à celui des corps lumineux répandus par myriades dans les espaces célestes. Il suffit, pour s'en convaincre, de contempler les cieux pendant une belle nuit, pour être frappé du nombre infini de points plus ou moins brillants qui les parsèment, et que l'éclat du soleil nous empêche de voir pendant le jour.

Le soleil, placé au centre de notre système planétaire, lance de toutes parts, sans interruption, et avec une incroyable rapidité, des torrents de rayons lumineux qui vivifient tous les corps répandus avec profusion sur la surface de la terre. Ces rayons transportent en effet avec eux, dans l'espace, non-seulement la faculté d'éclairer et de rendre lumineux certains corps, mais encore le pouvoir d'échauffer et de produire une foule de réactions chimiques, sources de la vie,

propriétés sans lesquelles le globe serait obscur, froid et privé de vie.

L'étude de la lumière, considérée sous le quadruple rapport de ses propriétés éclairantes, calorifiques, chimiques et phosphoriques, est donc du domaine de la physique appliquée, puisqu'elle intéresse également la physique, la chimie et la physiologie. Il ne peut être question néanmoins, dans ce livre, que des phénomènes relatifs à la production de la lumière, ceux concernant les effets calorifiques et chimiques ne pouvant être exposés qu'en traitant de l'action des agents impondérables sur les corps. Occupons-nous donc des sources de lumière qui peuvent être soumises à nos investigations, en commençant par le soleil, dont la lumière doit nous servir de type à l'égard des autres lumières. Nous parlerons ensuite des sources de lumière artificielle, des corps phosphorescents, enfin des corps célestes, que l'on ne peut étudier comme corps lumineux qu'après avoir acquis toutes les connaissances nécessaires pour en tirer des inductions sur la nature de leur lumière.

D'où peut donc provenir cette énorme quantité de lumière qui émane continuellement du soleil, sans que sa masse ait éprouvé la moindre altération depuis tant de siècles? Doit-on le considérer seulement comme un corps incandescent, et peut-on, avec les moyens dont nous disposons, entrevoir la cause de cette incandescence perpétuelle? Nous essayerons de répondre à ces deux questions quand nous connaîtrons les diverses sources de lumière artificielle.

Pour analyser la lumière émanée d'une source quelconque, il faut avoir égard non-seulement à sa composition, mais encore à sa nature, c'est-à-dire, savoir si elle a été réfléchie ou réfractée, ce dont on s'assure au moyen des phénomènes de polarisation. Relativement à la lumière colorée, elle peut provenir de la décomposition de la lumière dans la réfraction, de la polarisation colorée, ou d'effets d'interférence. On doit donc, en étudiant les sources lumineuses, prendre en considération toutes les causes qui peuvent modifier la lumière. Dans l'introduction historique qui se trouve au commencement du premier volume, nous avons résumé tout ce qui concerne l'état actuel de nos connaissances sur la réflexion, la réfraction la polarisation et les interférences de la lumière; il est donc inutile d'y revenir dans ce moment, ce serait un double emploi : or, le résumé étant aussi complet que possible, nous y renvoyons la lecteur.

Mesure de l'intensité de la lumière directe.

La divergence des rayons émanés d'un point lumineux conduit à la

loi de l'intensité de la lumière en raison de la distance, et dont voici l'énoncé : *l'intensité de la lumière est en raison inverse du carré de la distance*. En effet, à une distance double, la même quantité de rayons éclaire une surface quadruple, par conséquent l'intensité doit être quatre fois moindre, ainsi de suite; quant à l'intensité de la lumière réfléchie ou réfractée, la loi est plus compliquée. Il est inutile de la rappeler ici, attendu que nous ne nous occupons encore que de la lumière directe.

Pour étudier rationnellement les différentes sources lumineuses et les classer, il faut commencer par comparer ensemble les intensités de lumière, puis examiner leur composition; il devient alors facile de voir celles qui peuvent ou non avoir une origine commune, et jusqu'à quel point deux lumières peuvent être considérées comme identiques. Les procédés en usage jusqu'ici pour cette comparaison ne donnent que des rapports approchés, et encore ne peuvent-ils servir que lorsque les deux lumières ont la même couleur; celui qui est le plus généralement employé consiste à placer un corps opaque, tel qu'une tige quelconque de grosseur moyenne, derrière les deux lumières ayant même volume par rapport à l'observateur, et le plus près possible d'un carton blanc sur lequel on reçoit les deux ombres portées afin d'éviter les pénombres; chaque ombre est éclairée en partie par la lumière correspondant à l'autre ombre. On cherche ensuite à donner la même intensité aux ombres en changeant les distances relatives des deux lumières par rapport au carton. Or, l'égalité de l'intensité des ombres entraîne nécessairement celle des lumières; et comme les intensités de celles-ci sont en raison directe du carré de leur distance aux ombres, il est facile d'en déduire le rapport cherché.

Lorsque les deux lumières ont la même teinte, on conçoit qu'on puisse avec un peu d'habitude déterminer assez exactement l'égalité des ombres; et si l'expérience en outre est répétée par deux personnes l'une après l'autre, on aura des résultats dont la moyenne représentera sans erreurs bien sensibles la valeur cherchée.

Wollaston s'est servi de cette méthode pour comparer la lumière des étoiles et des planètes à celle du soleil (*Trans. phil.*, 1799); il a commencé par comparer la lumière du soleil à celle d'une chandelle dans une chambre obscure, au moyen de l'intensité des ombres projetées sur une feuille de carton blanc par un cylindre opaque et éclairé d'une part par un rayon solaire entrant par une petite ouverture circulaire pratiquée dans une feuille de cuivre; de l'autre, par une

chandelle placée de manière que les deux ombres fussent égales en intensité.

En représentant par H le diamètre de l'ouverture, D la distance de cette ouverture à l'écran évaluée en pouces anglais, c la distance de la chandelle à l'écran à l'instant de l'égalité des ombres, c'est-à-dire quand la lumière devient égale à celle du soleil, x l'intensité de la lumière solaire, la valeur de cette dernière est donnée par l'expression

$$x = \left\{ \frac{12\,D}{c\,H} + 2 \text{ tang. du demi-diam. solaire} \right\}^2.$$

La moyenne de douze expériences a donné $x = 5563$; c'est-à-dire qu'à volume égal la lumière du soleil a une intensité 5563 fois plus grande que celle d'une chandelle.

En comparant de la même manière la lumière de la lune à celle d'une chandelle, Wollaston a trouvé qu'elle était $\frac{1}{144}$ moins forte que la dernière placée à une distance de 12 pieds; par conséquent la lumière du soleil comparée à celle de la lune est égale à $5563\left(\frac{144}{12}\right)^2$, ou 801072, celle de la lune étant 1.

Bouguer, en suivant une autre méthode (t. I, p. 114), a trouvé un résultat à peu près semblable. Suivant lui, la lumière du soleil équivaut à 11664 bougies, à la distance de seize pouces français, ou à 5774 bougies placées à la distance d'un pied anglais : quant à la lumière de la lune comparée à celle du soleil, la différence est considérable, puisqu'il lui assigne une valeur égale à $\frac{1}{300.000}$ au lieu de $\frac{1}{801072}$ trouvé par Wollaston.

Ce dernier, désirant comparer la lumière du soleil à celle des étoiles, a imaginé une autre méthode assez simple, dont nous allons essayer de donner une idée (*Trans. phil.*, 1829). Cet habile et ingénieux physicien a pris pour unité de mesure l'image d'une chandelle réfléchie sur la petite boule d'un thermomètre, remplie de mercure (d'environ un quart de pouce de diamètre). Cette image était vue avec un œil au moyen d'une lentille de deux pouces de foyer, et de l'autre œil il observait avec un télescope l'image de l'astre réfléchie sur la boule d'un autre thermomètre semblable placé à distance. Des précautions avaient été prises pour rendre comparables les lumières, abstraction faite des couleurs. Au moyen d'un calcul assez simple, Wollaston a trouvé que la lumière du soleil = 11839533000 × lumière de Sirius. En admettant que la lumière perdit la moitié de son intensité par l'effet de la réflexion sur la boule, la lumière solaire devient égale à 20000 000 000 × lumière de Sirius. La lumière de la Lyre a

été trouvée par le même moyen égale environ au neuvième de celle de Sirius. D'autres méthodes ont été employées ou indiquées pour comparer les lumières sous le rapport de leur intensité ; mais comme il en a été fait mention dans le précis historique, nous n'y reviendrons pas.

Des divers rayons colorés dont se compose la lumière solaire.

Les différents rayonnements ou rayons éclairants et non éclairants qui, par leur réunion, forment la lumière solaire, ne peuvent être étudiés séparément qu'en les séparant, c'est-à-dire, en décomposant un faisceau de lumière solaire dans une chambre obscure, au moyen d'un prisme triangulaire de flint-glass. A cet effet, on adapte au volet un porte-lumière destiné à réfléchir un faisceau lumineux qui passe ensuite par une ouverture d'un à deux centimètres pratiquée dans le volet.

Ce faisceau, appelé rayon solaire, reçu sur un écran blanc placé à une certaine distance, y forme une image blanche de forme circulaire qui est celle du soleil ; cette image est d'autant plus grande que le papier est plus éloigné ; mais si sur le trajet du même faisceau on place un prisme triangulaire de flint-glass dont une des arêtes soit parallèle à l'horizon et perpendiculaire à la direction du rayon incident, et que le faisceau soit reçu obliquement sur la face en regard du trou, le faisceau sera réfracté en traversant le prisme, et l'image reçue sur le même écran sera relevée dans la direction A (fig. 17, pl. VII) ; mais alors elle ne sera plus ronde et blanche, mais bien oblongue et colorée de teintes extrêmement vives, parmi lesquelles on distingue, en commençant sur le bas ou la partie la moins réfractée, sept couleurs principales, le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo, le violet, qui est la couleur des rayons les plus réfrangibles.

Cette image colorée, appelée spectre solaire, n'est bien développée que lorsque le faisceau solaire n'est pas trop gros, ou la distance entre le trou et l'écran pas trop petite. Quant à l'angle réfringent du prisme, qui est dans les cas ordinaires de 60°, il dépend en général de la longueur qu'on veut donner au spectre et de la nature de la substance dont est formé le prisme. La largeur du spectre est toujours égale au diamètre de l'image directe reçue à la même distance. Nous renvoyons pour la démonstration aux traités de physique.

Si l'on examine les diverses couleurs, on voit que la couleur rouge est brillante et d'un éclat beaucoup plus vif que ne pourrait le donner

toute autre couleur rouge fournie par un moyen quelconque. La teinte orangée passe par gradations imperceptibles à un beau jaune paille. Le vert qui vient après est très-pur et très-intense, et passe de même à un bleu verdâtre pour arriver à l'indigo le plus pur, puis au violet. Avec cette succession de teintes, l'intensité de la clarté va en diminuant, et déjà la partie supérieure de la teinte indigo n'éclaire plus que faiblement. Au delà, la teinte rougit un peu et prend une couleur livide que l'on ne peut comparer à celle d'aucun objet. La nuance qui s'en approche le plus est celle d'un violet fade.

Il est facile de prouver que chacune des sept teintes principales dont se compose le spectre solaire est simple. Il suffit pour cela de pratiquer dans l'écran qui reçoit le spectre une ouverture assez petite pour ne laisser passer qu'une partie de la couleur correspondante, de sorte que la partie du rayon coloré qui traverse ce trou va former sur un autre écran, placé derrière le premier, une image de même couleur que la partie du spectre qui a fourni le faisceau.

Mais si, au lieu de faire tomber immédiatement ce faisceau sur l'écran, on interpose sur son passage un second prisme qui le réfracte, l'image réfractée, reçue sur le carton, aura la même couleur que celle de la teinte du spectre d'où émane le faisceau réfracté. Or, comme cet effet se produit quelle que soit la teinte du spectre que l'on considère, il s'ensuit que chacune des couleurs est simple et indépendante de celles qui la suivent ou qui la précèdent. On tire de là la conséquence immédiate que l'impression de la lumière produite sur la rétine ou sur tout autre corps n'est autre que la résultante des effets ou des impressions dues à chacune des couleurs.

On a vu que l'on distinguait sept couleurs principales dans la lumière solaire; mais cette division est arbitraire, elle n'a eu pour but que de définir les principales bandes colorées; car le passage d'une teinte colorée à une autre s'effectuant par des nuances insensibles, il faut admettre qu'un rayon de lumière blanche est composé d'une infinité de rayons élémentaires qui diffèrent tous de couleur et de réfrangibilité; la différence de couleur est indiquée par la dégradation des teintes, et la différence de réfrangibilité par leur position même dans le spectre.

On voit donc qu'avec le prisme on peut décomposer la lumière, c'est-à-dire, séparer tous les rayonnements ou rayons colorés dont elle est formée; mais pour ne laisser aucun doute à cet égard, on reforme la lumière blanche avec tous les rayons colorés provenant de sa décomposition. Plusieurs moyens sont employés pour effectuer

cette recomposition. Un des plus simples est de faire passer dans une chambre obscure un rayon solaire à travers un prisme, et de le recevoir après la dispersion sur une lentille placée convenablement, afin de faire converger au foyer tous les rayons colorés. Si on intercepte une portion du spectre avant qu'il ne tombe sur la lentille, par exemple le violet, on n'aura plus au centre de la lentille qu'une teinte jaune; en interceptant ainsi successivement le bleu, le vert, le jaune deviendra de plus en plus rouge, et en enlevant les autres couleurs jusqu'à l'avant-dernière, on n'aura plus que le rouge. Il est donc bien démontré, par l'analyse et la synthèse, que la lumière peut être considérée comme composée de sept couleurs principales, en sous-entendant que chacune d'elles est formée de rayons qui ne sont pas assez perceptibles pour être définis.

Telle était l'opinion de Newton, telle est celle de la plupart des physiciens sur la composition de la lumière; mais ce n'est pas la seule. Dès que l'on eut reconnu que dans chacune des sept couleurs il y avait des dégradations de teintes annonçant la présence de rayons différemment réfrangibles, on essaya de montrer que le nombre des couleurs élémentaires pouvait être réduit à quatre, et même à trois. Wollaston, en 1802 (*Trans. phil.*), annonça que le spectre était composé de quatre couleurs élémentaires, le rouge, le vert, le bleu et le violet. Suivant lui, le jaune serait un mélange de rouge et de vert. Cette manière de voir provoqua une discussion entre les physiciens, dont plusieurs admirent, et entre autres M. Herschel, qu'il était probable que l'orangé, le vert et le violet ne fussent que des couleurs mêlées, et qu'il n'existait réellement que trois couleurs primitives, le jaune, le rouge et le bleu. Ce système fut soutenu par Mayer et M. Brewster, et combattu par le docteur Young, qui ne reconnut que trois couleurs fondamentales, le rouge, le vert et le violet. Nous allons entrer dans quelques détails sur les expériences faites par M. Brewster, pour montrer que le rouge, le jaune et le bleu se trouvent dans toutes les parties du spectre; si l'on examine attentivement le spectre, il existe, suivant lui, incontestablement, et c'est là son point de départ, de la lumière rouge dans les divisions rouges, orangées et violettes; ces trois divisions, suivant Fraunhofer, occupent 190 parties sur 360, qui est la longueur totale du spectre, c'est-à-dire plus de la moitié. Maintenant, si on examine les espaces bleus et indigo à travers des liquides jaunes, tels que l'huile d'olive, ils prennent une teinte violette. De là, M. Brewster conclut que ces liquides ont absorbé des rayons qui masquaient le rouge du violet, et

que par conséquent le rouge existe dans les espaces bleus et indigo. Il a montré par un moyen semblable, avec des liquides convenablement choisis, que le rouge existe dans les sept parties du spectre solaire.

La couleur jaune, suivant lui, se reconnaît distinctement dans les espaces orangés, jaunes et verts qui occupent 77 parties du spectre. En regardant ce dernier avec un verre bleu foncé, la lumière verte est vue distinctement en F, pl. VIII, fig. 1.

Il en conclut que la couleur jaune doit s'y trouver ; or, de même que l'action de l'huile d'olive dans les espaces bleus, indigo, a été d'absorber certains rayons et de laisser passer une teinte violette, ces rayons, pense M. Brewster, ne peuvent être ni rouges ni bleus, puisque le blanc enlevant du bleu ne laisserait pas de violet. Ces rayons doivent donc être une petite portion des rayons jaunes qui, formant du blanc avec le rouge et une portion de bleu, ont pour effet d'affaiblir la teinte bleue prédominante. Il a cherché à prouver de la même manière que le jaune se trouve dans toutes les parties de l'espace rouge du spectre : si l'on regarde par exemple le spectre avec un prisme de vin de Porto, à travers du baume du Pérou, du mica rouge, etc., on voit distinctement la lumière jaune vers la ligne C, qui est assez avancée dans l'intérieur de l'espace rouge, et en raison de l'action absorbante de ces différentes substances, tout l'espace rouge prend une teinte jaunâtre provenant de l'absence de la lumière bleue. Pour démontrer l'existence de celle-ci dans toute l'étendue du spectre, M. Brewster part de ce point que le bleu existe dans le violet, l'indigo, le bleu et le vert, qui occupent 247 parties sur 260. Maintenant si l'on absorbe les rayons les plus réfrangibles en regardant au travers d'une couche de certaine épaisseur de baume de soufre, de baume du Pérou ou bien de lames de mica, on aperçoit le bleu mêlé avec le jaune et formant le vert, très-près de C, qui est fort avancé dans l'espace rouge. Par conséquent, ce bleu doit donc se trouver dans le rouge. M. Brewster ne s'est pas borné à montrer l'existence du rouge, du jaune et du bleu dans toute l'étendue du spectre, il a cherché aussi à prouver que la lumière blanche pouvait être séparée partout. Nous reviendrons sur cette manière d'envisager la composition de la lumière quand nous traiterons de la couleur des corps en général ; mais il était nécessaire de faire connaître avant les idées émises sur la composition de la lumière.

Des raies du spectre produit par la lumière solaire et la lumière des étoiles.

Reprenons maintenant le spectre formé dans les circonstances les plus favorables, afin de pouvoir explorer facilement toutes les parties dont il se compose. Cette condition est remplie quand le faisceau incident est le plus petit possible, le prisme de flint-glass très-homogène, exempt de bulles et de stries, le spectre très-allongé, et qu'on opère de la manière suivante :

Dans une chambre obscure on introduit un faisceau de rayons solaires, par une ouverture étroite et verticale, pratiquée dans un volet, d'environ un millimètre de largeur et de plusieurs centimètres de longueur. Ce faisceau est réfracté dans un prisme de flint-glass, placé devant l'objectif d'un théodolite, et de telle sorte que l'une des arêtes du prisme soit parallèle à l'ouverture du volet, et que l'angle du rayon incident sur le prisme soit égal à celui du rayon émergent, afin d'avoir le minimum de déviation. En regardant le spectre avec la lunette, on aperçoit une infinité de raies ou lignes verticales de différentes épaisseurs, plus foncées que le reste du spectre, et dont quelques-unes même paraissent entièrement noires; la distance de ces raies reste la même, quels que soient l'ouverture du volet et l'éloignement de la lunette à l'égard du spectre. Le rapport des distances paraît être le même pour toutes les substances réfringentes.

La fig. 1, pl. VIII, représente un spectre lumineux avec toutes ses raies : A est la partie extrême du rouge; H celle du violet, ou du moins la limite qui soit perceptible. En général, moins la lumière est vive, plus le spectre est court, parce qu'il manque alors des rayons.

Si l'on reçoit, par exemple, sur le prisme, la lumière d'un nuage éclairé, le spectre paraît limité d'un côté en G et H, de l'autre en B, tandis que la lumière directe du soleil allonge le spectre d'environ moitié. Nous donnons ici le catalogue des principales raies observées.

En A, il y a une raie bien prononcée; le rouge continue cependant un peu plus loin; en *a* est un amas de huit lignes fines. La raie B est de teinte et d'épaisseur assez considérables. De B en C, il y a neuf raies bien déterminées. C est épaisse et noire comme B. Entre C et D, il y a trente raies fines qui, si l'on en excepte deux, ne peuvent être aperçues qu'avec un fort grossissement ou avec des prismes d'une grande dimension. D est formé par deux fortes raies, séparées par une ligne claire. Entre D et E on rencontre environ 84 raies de différentes gros-

seurs. E consiste en plusieurs raies dont celle du milieu est la plus forte; de E en B il y a à peu près 24 raies; C est formé de 3 raies, dont 2 séparées par une raie fine et claire. CF renferme 52 raies. F est très-grosse; entre F et G il y a 185 raies de différentes dimensions. En G sont amassées beaucoup de raies dont plusieurs sont remarquables par leur grosseur; de G en H on compte 190 raies; les deux bandes H sont presque égales et formées de plusieurs lignes dans le milieu desquelles il s'en trouve une très-forte; de H en I elles sont en très-grand nombre.

Les raies A, B, C sont dans le rouge et l'orangé; D est à la limite de l'orangé et du jaune; E et C sont dans le vert; F est dans le commencement du bleu, G entre le bleu et l'indigo, et H à la fin du violet; mais à partir de H jusqu'en I la teinte de la lumière est gris-cendré, et en H elle quitte la teinte violette. La limite lumineuse, de ce côté, est très-difficile à saisir.

Les spectres formés par la lumière des planètes, de la lune et des étoiles, ont été étudiés également sous le rapport des raies : ces raies sont les mêmes, et placées aux mêmes intervalles pour les spectres des planètes et de la lune, que pour la lumière solaire, conséquence d'une origine commune; mais il n'en est pas de même de la lumière des étoiles, quoique les raies soient difficiles à apercevoir dans leurs spectres, en raison de la faible intensité de leur lumière; néanmoins on reconnaît qu'elles ne sont plus aux mêmes places que dans le spectre solaire. Nous citerons particulièrement Sirius, dont le spectre présente surtout trois raies très-remarquables, l'une dans le vert et deux dans le bleu.

Lorsqu'on veut voir les raies du spectre solaire par projection sans lunette, il est nécessaire de mettre derrière ce prisme une lentille d'un mètre de foyer environ. Si le prisme est placé à une distance de l'ouverture égale à deux mètres, ou deux fois la distance focale de la lentille, et qu'on mette un tableau blanc à deux mètres au delà du prisme, alors les raies du spectre se dessinent nettement sur sa surface. La lentille convergente permet de distinguer les raies par projection. On voit plus ou moins nettement ces raies, suivant la distance du tableau à la lentille, que l'on fait varier à volonté. Pour voir les raies fines des parties les moins réfrangibles, on ne doit pas donner à la fente plus de $\frac{1}{4}$ de millimètre d'ouverture. Quant aux grosses raies, particulièrement les raies H et au delà, l'ouverture doit avoir 1 ou 2 millimètres. On distingue alors très-bien les deux raies H de l'extrême violet, et, au delà, des raies situées dans la teinte gris-lavande. La position des

raies ne dépendant que de celle de l'ouverture et de la position du prisme, le mouvement apparent du soleil n'intervient en rien pour les changer. Il est donc inutile d'employer un héliostat afin d'avoir un spectre stationnaire. Il suffit seulement d'avoir un porte-lumière que l'on tourne convenablement. Ce procédé nous servira plus loin pour étudier le spectre chimique.

Il est important de pouvoir mesurer avec une grande exactitude les distances réelles entre les raies, du moins celles qui sont le mieux définies. Le moyen le plus direct est celui qui a été employé par Fraunhofer, lequel consiste à adapter un micromètre à l'oculaire d'un télescope, pl. VII, fig. 18. Pour s'assurer des distances des lignes les plus rapprochées, on fait tourner l'axe de l'instrument avec le prisme qui fait corps avec lui dans un plan horizontal, où des verniers et des loupes permettent de lire les angles sur un cercle gradué, avec l'exactitude des observations astronomiques.

Diverses hypothèses ont été mises en avant pour expliquer la présence des raies dans le spectre solaire; on pense assez généralement qu'elle est due à l'absorption de certains rayons par l'atmosphère terrestre. M. Brewster avait avancé que cette perte de rayons s'opère dans l'atmosphère du soleil. M. Forbes, voulant vérifier cette conjecture, a eu l'idée de rechercher si les rayons provenant des bords du soleil, ayant à traverser une plus grande portion d'atmosphère, ne présenteraient pas, après leur décomposition dans le prisme, plus de lignes, ou du moins des lignes plus étendues que les rayons émanant du centre. Il a profité d'une éclipse de soleil pour observer le spectre engendré uniquement par les rayons venant du bord du soleil; il a reconnu que le spectre était absolument identique à celui formé par un faisceau de lumière émané de tous les points de cet astre; il en a conclu dès lors que l'atmosphère du soleil n'intervenait en rien sur la production des raies. La conclusion n'est pas rigoureuse, car il pourrait se faire que l'atmosphère solaire fût la cause immédiate du phénomène, et néanmoins que la différence dans le trajet des deux rayons ne fût pas suffisante pour modifier le nombre des raies et leur étendue. La connaissance des raies est devenue très-importante depuis que l'on s'en est servi pour distinguer les lumières qui n'ont pas une origine commune.

CHAPITRE II.

De la lumière d'incandescence ou d'irradiation, et des flammes proprement dites.

Lorsqu'on chauffe un corps dans l'obscurité jusqu'à une température supérieure à 500°, il acquiert la faculté non-seulement d'échauffer, mais encore d'éclairer les objets environnants; il rayonne donc en même temps de la chaleur et de la lumière.

Quand la chaleur, devenue assez intense dans un corps, produit de la lumière, elle n'en possède pas moins toutes ses propriétés calorifiques; il se développe encore un autre ordre de phénomènes, qui se manifeste quelquefois à nos yeux par d'autres causes que la chaleur, comme la phosphorescence, en particulier, nous en offre de nombreux exemples.

Quoique la chaleur et la lumière possèdent chacune des propriétés caractéristiques, elles en ont cependant de communes, qui montrent leur dépendance mutuelle sous le rapport de leur origine.

C'est ainsi que la chaleur, de même que la lumière, est soumise aux mêmes lois du rayonnement, de la réflexion, de la réfraction et de la polarisation. De cette simultanéité d'effets calorifiques, lumineux, et d'autres faits qui ne peuvent être encore rapportés ici, on en tire la conséquence que la chaleur et la lumière proviennent très-probablement d'un principe éthéré, effectuant, sous l'influence de certaines forces, deux ordres différents de vibrations. Mais pour l'instant, ne nous occupons point des théories destinées à expliquer les phénomènes calorifiques et lumineux, afin de ne pas perdre de vue notre sujet.

Les phénomènes de lumière produits par l'irradiation d'un corps en incandescence ne pouvant être séparés des phénomènes d'incandescence eux-mêmes, c'est-à-dire des effets calorifiques concomitants, il est nécessaire de ne pas scinder la question, afin de l'embrasser dans son ensemble et pouvoir ainsi la traiter complètement. Nous commencerons par étudier l'émission de la lumière dans les actions chimiques, et d'abord les flammes.

Les corps combustibles, en se combinant avec l'oxygène ou un autre principe comburant, produisent des flammes ou de la lumière, suivant le degré de température auquel s'opère cette combinaison. Il y a flamme toutes les fois que ces corps dégagent, à une haute température, des matières gazeuses combustibles : la flamme est donc le résultat de la combustion d'un gaz; mais diverses causes modifient l'intensité de la lumière émise.

Le gaz hydrogène pur produit, en brûlant, une faible flamme blanche; s'il renferme des corps étrangers, sa couleur passe au bleu, au vert, etc. Le charbon qui brûle à une haute température, dans un milieu où l'air est sans cesse renouvelé, donne une belle flamme blanche. Si le courant d'air est incomplet, elle devient bleue; si la masse de charbon est considérable, on n'a qu'une faible flamme d'un rouge clair. Ces effets de coloration proviennent de ce que, quand l'oxygène est en petite quantité, il se forme du gaz oxyde de carbone, qui produit en brûlant, suivant la quantité, des flammes différentes.

Les gaz qui brûlent d'eux-mêmes produisent des flammes légères, isolées, et par conséquent très-mobiles. On peut citer pour exemples l'hydrogène et ses combinaisons.

La couleur et l'intensité des flammes varient suivant la nature des corps, la chaleur dégagée, et d'autres causes que nous indiquerons bientôt. Pour l'instant, bornons-nous à citer quelques exemples. La flamme du zinc, celle du phosphore sont blanches, celle du soufre bleue, celle du cuivre verte, etc.

Lorsqu'on laisse s'échapper par un tube à petit diamètre, fixé à l'orifice d'un flacon rempli d'hydrogène non comprimé, un courant de ce gaz, et que l'on approche de l'extrémité du tube un corps enflammé, le gaz prend feu en produisant une petite flamme continue, répandant une faible lueur blanche avec formation d'eau. Si le gaz est comprimé, la flamme s'allonge et acquiert d'autant plus d'éclat, que la pression est plus forte. Le phénomène est plus marqué si le gaz renferme de l'oxygène. Enfin, si l'hydrogène et l'oxygène sont mélangés dans les proportions voulues pour former de l'eau, c'est-à-dire, de deux parties en volume du premier, et d'une du second, et que l'écoulement se fasse par un tube à très-petit diamètre, les deux gaz brûlent avec plus d'éclat en produisant une chaleur excessive, capable de fondre presque tous les corps. Pour faire une telle expérience, il faut de grandes précautions, sans lesquelles la masse des deux gaz détonerait avec violence, en faisant courir les plus grands dangers

à l'expérimentateur. Mais la flamme produite par la combustion du mélange détonant est loin d'avoir tout l'éclat qu'elle aurait si la combustion s'effectuait en présence de corps inertes, qui, dans ce cas, acquièrent un pouvoir d'irradiation très-grand.

La flamme résultant de la combustion d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène, s'écoulant par l'extrémité d'un tube à petit diamètre, est-elle homogène dans toutes ses parties sous le rapport de l'éclat de la lumière produite et de la chaleur dégagée? Non, cela ne saurait avoir lieu, attendu que la flamme, devant être considérée comme une matière gazeuse chauffée au point d'être lumineuse, les parties qui n'ont pas encore atteint pour cela la température suffisante doivent rester plus ou moins sombres. Pour bien voir ces différents effets, il faut examiner avec attention la flamme d'une bougie ou d'une chandelle; à la vue simple, on y reconnaît aisément quatre parties distinctes :

1° Le bord inférieur de la flamme, formant un segment d'une belle couleur d'un bleu sombre;

2° L'espace conique au-dessus de la mèche, moins transparent et moins lumineux que le reste de la flamme;

3° Une zone de lumière plus éclatante que la précédente et enveloppant l'espace conique;

4° Une couche mince et peu lumineuse, entourant les couleurs précédentes, et dans laquelle se trouve, comme on le verra ci-après, le maximum de chaleur.

Dans la flamme de la lampe alimentée par le gaz détonant, ces différentes enveloppes ne sont pas aussi visibles, à cause de la rapidité de la combustion; mais il y a un moyen très-simple de les apercevoir : il suffit de plonger transversalement dans la flamme un fil fin de platine, qui, dans chacune des enveloppes, devient lumineux suivant la chaleur communiquée. Si le fil est placé, par exemple, à un ou deux millimètres immédiatement au-dessus de la partie visible de la flamme, il devient rouge blanc, au point, par conséquent, où il n'existe pas de lumière et où se trouve le maximum de chaleur. On obtient le même effet avec la flamme d'une lampe à alcool.

Pour mieux juger encore de l'éclat de la lumière accusée par chacune des parties, ou plutôt des enveloppes d'une flamme, on se sert de la méthode de Porret (*Ann. of phil.*, mai 1827). Ce physicien ayant découpé un morceau de toile métallique de 100 fils par centimètre carré, de manière à lui donner la forme d'une section verticale de la partie de la flamme située au-dessus de la mèche, l'intro-

duisit dans la flamme, de haut en bas, en l'implantant dans la mèche au moyen de deux fils; il observa alors les effets suivants : la partie en contact de la pièce plongée dans la faible flamme extérieure rougit et s'oxyda fortement; la partie contiguë et correspondante à la surface très-lumineuse se recouvrit d'une couche épaisse de charbon, dont le contour avait la forme d'un pain de sucre. En dedans de cette limite, la toile fut simplement noircie et indiqua l'espace occupé par les gaz et les vapeurs inflammables qui s'échappaient par la mèche. Le maximum de chaleur se trouvait dans la partie invisible de la flamme, et la plus grande précipitation du charbon n'avait pas lieu dans la partie centrale de la flamme, c'est-à-dire, la plus éloignée de l'air atmosphérique, mais bien à la surface lumineuse.

Nous avons maintenant tous les éléments pour décrire la formation d'une flamme, en se rappelant que la flamme n'est autre qu'une matière gazeuse chauffée au point d'être lumineuse. Dès l'instant que les matières combustibles dont la mèche est imbibée ont pris feu, la chaleur qui s'en échappe volatilise continuellement une grande quantité des substances qui humectent la mèche. Il en résulte alors une colonne ascendante, lumineuse, en raison de la haute température que ces corps possèdent, ceux-ci prenant feu à l'approche de l'air. Quand la mèche cesse d'être rouge, la fumée qui se forme n'ayant pas une température suffisante, n'est plus susceptible de prendre feu, et il se forme de l'eau, de l'huile empyreumatique, de l'acide pyroligneux, avec dépôt de charbon si la fumée est reçue sur un corps froid. Quand la température est plus élevée, il y a réaction du carbone sur les composés précédents, puis formation de gaz oxyde de carbone, de différents carbures d'hydrogène et d'une petite quantité de gaz acide carbonique.

On a discuté pour savoir si la flamme d'une chandelle était ou non transparente. Rumford a fait une expérience très-simple qui résout affirmativement la question. Il supposa que la seule raison qui empêchait de voir à travers les flammes était la vivacité de leur lumière comparée à celle des corps que l'on observait. Pour éviter les effets de cette illusion, il eut l'idée de regarder une lumière très-intense à travers une flamme faible, pensant que celle-ci pourrait peut-être même disparaître complétement, et plaça à cet effet, à midi, une chandelle allumée entre le soleil et son œil; il reconnut alors que la flamme était tout à fait invisible. Cette expérience simple suffit pour démontrer la transparence de la flamme d'une chandelle ou d'une bougie, qui paraît opaque par rapport à une autre lumière

artificielle. Passons maintenant en revue les causes principales qui influent sur l'éclat de la lumière émise dans la combustion, et les quantités de chaleur émises dans les mêmes circonstances, lesquelles produisant des effets concomitants, ne doivent point être séparées.

Davy, par ses importantes recherches sur la constitution des flammes, a mis les physiciens à même d'expliquer les phénomènes généraux qui accompagnent leur production; en effet, il est prouvé par ses recherches que la lumière brillante dégagée dans la combustion de l'hydrogène carboné, ou du gaz inflammable du charbon de terre, s'écoulant par un petit orifice, est due à ce qu'une partie du gaz se décomposant dans l'intérieur de la flamme où l'air est en très-petite quantité, dépose du charbon solide qui, par son ignition et sa combustion, augmente à un haut degré l'intensité, ou plutôt l'éclat de la flamme. Il est prouvé encore que la présence d'une substance inerte, sur laquelle les gaz n'exercent aucune action chimique, suffit pour donner à la flamme un pouvoir d'irradiation qu'elle n'avait pas avant. Voici les expériences qui ont servi à établir ces faits fondamentaux.

On fait arriver un courant de gaz hydrogène carboné par un petit tube en avant duquel, et le plus près possible de l'orifice, se trouve une toile métallique de cent ouvertures par centimètre carré; si l'on enflamme le gaz, la combustion est vive comme à l'ordinaire; mais vient-on à éloigner la toile pour que le gaz puisse se mêler à une plus grande quantité d'air avant de s'enflammer, la lumière s'affaiblit; enfin, à une certaine distance, la flamme est faible et bleuâtre; et cependant la chaleur est encore plus grande que celle qui accompagne une lumière beaucoup plus vive: car en plaçant un bout de fil de platine au milieu de cette faible flamme, il est à l'instant chauffé jusqu'au blanc, ce qui n'a pas lieu dans l'autre cas.

En faisant l'expérience inverse, c'est-à-dire, en approchant graduellement la toile métallique de l'orifice, le sommet de la flamme interceptée ne dépose pas sensiblement du charbon solide, ce n'est que plus bas que le dépôt commence à s'effectuer; c'est alors que le refroidissement causé par la présence de la toile métallique empêche le charbon de brûler au bas de la flamme, où le gaz, en s'écoulant avec l'air, brûle avec une flamme bleue : il n'y a aucune trace sensible de charbon. Cette expérience a beaucoup d'analogie avec celle de Porret. De ces deux expériences on tire les conséquences suivantes :

1° La présence du charbon en ignition et en combustion explique

les apparences des différentes parties d'une flamme. Dans la flamme activée par le chalumeau, le point où la chaleur est la plus grande est le centre de la flamme bleue; c'est précisément l'endroit où la combustion du charbon est complète.

2° La présence d'une matière solide et fixe produite dans la combustion augmente également l'intensité de la flamme. C'est justement le cas de la lumière de la flamme produite par la combustion du phosphore et du zinc dans l'oxygène, ou du potassium dans le chlore. Dans le premier cas, il se forme de l'acide phosphorique et de l'oxyde de zinc; dans le second, du chlorure de potassium.

3° A défaut de composés solides et fixes produits dans la combustion, on y supplée en plaçant au milieu de la flamme un corps incombustible de petites dimensions; on donne ainsi de l'éclat à la flamme, en projetant dedans de l'oxyde de zinc, de l'amiante très-fine, ou autres substances très-ténues.

Les principes précédemment énoncés permettent dans quelques cas de reconnaître, dans les flammes, la présence de quelques composés; par exemple, l'éther en brûlant donne une flamme qui semble indiquer la présence du gaz oléfiant; l'alcool brûle avec une flamme pareille à celle d'un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène; la flamme d'une chandelle ou d'une lampe dans laquelle on projette du proto-chlorure de cuivre, prend une couleur d'un rouge brillant avec une teinte de vert et de bleu sur les bords; effets qui paraissent provenir du chlore remplacé par l'hydrogène, et de la combustion du cuivre et du charbon. Les sels à l'état solide ou gazeux jouissent de la propriété, du moins un assez gaand nombre, de communiquer par leur ignition une couleur aux flammes. L'expérience se fait avec beaucoup de facilité de la manière suivante. On prend une ficelle ou une mèche de coton que l'on saupoudre avec le sel, ou bien on la trempe dans une solution de ce même sel. Après l'avoir fait sécher, ou même avant, on place son extrémité inférieure dans la partie invisible de la flamme d'une bougie. Bientôt le fil brûle en pétillant, et l'enveloppe obscure de la flamme devient lumineuse, prend une couleur dépendante de la nature du sel employé. Les sels de soude colorent les flammes en jaune pur; les sels de potasse en un beau violet pâle; les sels de chaux en rouge de brique; les spectres obtenus avec ces trois espèces de lumières donnent une ligne jaune et une belle ligne verte. Les sels de strontiane colorent en beau cramoisi les flammes, et avec un prisme, on a deux espèces de jaune dont l'un approche beaucoup de l'orangé. Les sels de magnésie n'ont point de

propriétés colorantes; les sels de lithine colorent en rouge la flamme; les sels de baryte en vert pommé, mais assez pâle et beau. Les sels de cuivre la colorent en un très-beau vert ou bleu verdâtre. Le protosulfate de fer donne une flamme blanche, l'acide borique une flamme verte. Dans l'emploi des sels pour colorer les flammes, il est préférable d'employer les chlorures, parce que, étant volatils, ils se mêlent rapidement aux gaz inflammables. Quand on veut avoir un jaune bien homogène, il faut employer le chlorure de sodium imprégné d'alcool. Ces effets de couleur paraissent tenir à la mise en liberté de ces bases, puis à leur combustion subséquente. Les faits précédents tendent encore à démontrer qu'une flamme brillante et dense est un signe certain de la production d'une matière solide, tandis que le contraire a lieu quand la flamme est légère.

Les données que l'on possède sur les causes qui concourent à la production des flammes, à leur éclat et à leurs effets calorifiques, permettent de diminuer leur chaleur en augmentant leur éclat, et réciproquement. Ainsi, la flamme produite à l'orifice d'un tube d'un très-petit diamètre par un mélange d'oxygène et d'hydrogène légèrement en excès, condensé dans un appareil, répand une lueur à peine visible à la lumière du jour, tandis que la chaleur produite est une des plus intenses que l'on connaisse, puisqu'elle fond à l'instant les corps réfractaires, et que les corps combustibles qui y brûlent émettent une lumière si vive, que l'œil peut à peine en soutenir l'éclat.

De la température des flammes.

Les appareils thermo-électriques indiqués précédemment ne peuvent servir à mesurer la température des flammes d'une petite dimension sans éprouver des modifications. Nous allons décrire les moyens simples que nous avons employés à diverses reprises, avant que l'on eût songé à ce nouveau moyen thermométrique.

Quand on examine avec un peu d'attention la flamme d'une bougie ou d'une lampe à alcool, on reconnaît qu'elle est composée, comme on l'a déjà dit, de quatre parties distinctes, savoir :

AC, fig. 21, pl. VII, est la partie d'un bleu sombre qui s'amincit à mesure qu'elle s'éloigne de la mèche, et disparaît à l'endroit où la partie extérieure de la flamme s'élève verticalement.

AD est l'espace obscur visible au travers de l'enveloppe brillante, et qui renferme les gaz émanés de la mèche, lesquels ne peuvent brûler parce qu'ils ne sont pas encore en contact avec l'air.

DF est la partie brillante de la flamme.

CEF est l'enveloppe peu lumineuse dans la plus grande épaisseur, qui correspond au sommet de la flamme brillante; c'est dans cette partie inférieure que la combustion s'achève, et que la chaleur est le plus intense.

Pour s'en assurer, on renverse la flamme avec un chalumeau à l'aide duquel on introduit un courant d'air au milieu de la flamme, fig. 22. On voit aussitôt au milieu apparaître une flamme bleue AC, longue et étroite, qui est la même que AC précédemment indiquée; mais elle est changée de position et de forme. C'est à son extrémité antérieure que se trouve le point de la plus haute température, de même que dans la flamme ordinaire. Dans celle-ci, ce point forme une zone ou une circonférence de cercle, tandis que dans l'autre il est réduit à un point incomparablement plus chaud, capable de fondre ou de volatiliser diverses substances. Cet énorme accroissement de chaleur tient à ce que le chalumeau verse, sur un espace situé au milieu de la flamme, une masse condensée du même air, qui, auparavant, ne faisait qu'effleurer la surface. Dans le jet de flamme produit par le chalumeau, la flamme brillante qui enveloppe la flamme bleue empêche la déperdition de la chaleur produite.

Passons à la détermination de la température des flammes; voici le procédé dont Davy a fait usage, non pas pour la déterminer exactement, mais pour avoir des rapports qui pussent servir dans diverses circonstances. Il mit successivement un fil de platine dans le corps de la flamme et au-dessus, et jugea approximativement de la température par le degré d'incandescence du fil; il se servit ensuite d'un autre appareil à l'aide duquel cette température est donnée par celle d'un vase de cuivre rempli d'huile d'olive qui reçoit toute la chaleur produite en brûlant des quantités égales de gaz dans les mêmes circonstances et qui est indiquée par un thermomètre placé dans le vase. Ce procédé, comme on le voit, ne présente rien d'absolu, et ne peut servir à déterminer la température de toutes les couches d'une flamme; en outre il n'est point susceptible d'exactitude. Quoi qu'il en soit, voici les résultats qu'il a obtenus :

La flamme de gaz oléfiant éleva le thermomètre à	132,2
Celle du gaz hydrogène à.....	114,4
L'hydrogène sulfuré à.....	111,1
Le charbon de terre à.....	113,3
L'oxyde de carbone à.....	103,3

Nous devons encore à Davy les observations suivantes :

1° La flamme de l'hydrogène s'éteint dans les atmosphères raréfiées, lorsque la chaleur qu'elle produit est incapable de communiquer au métal une ignition visible.

2° Le gaz oléfiant, qui approche le plus de l'hydrogène, sous le rapport de la chaleur qui se dégage dans la combustion, n'exige pas une température beaucoup plus élevée pour s'enflammer.

3° L'alcool et la cire ont besoin de peu de chaleur pour volatiliser leur principe combustible. L'oxyde de carbone, malgré le peu de chaleur qu'il produit pendant la combustion, est aussi inflammable que l'hydrogène.

4° Le soufre, qui peut brûler à une température plus basse qu'aucune autre substance, excepté le phosphore, donne une flamme bleue très-faible dans l'air raréfié : quelquefois cette flamme élève la température du fil de platine jusqu'au rouge cerise.

En comparant la chaleur communiquée au fil de platine par des flammes de même volume, Davy reconnut que l'hydrogène et le gaz oléfiant, brûlant dans l'oxygène, produisent plus de chaleur que les autres substances gazeuses brûlant également dans l'oxygène.

Le procédé employé par Davy ne peut servir qu'à trouver approximativement des différences. L'appareil que nous allons faire connaître peut aider à déterminer la température des diverses enveloppes des flammes, si l'on compare préalablement sa marche avec celle du thermomètre à air. Si l'on emploie le procédé de Davy, c'est-à-dire, que l'on introduise dans la flamme un fil de platine pour connaître, par son incandescence, la différence existant entre les températures des couches, on trouve que le point de ce fil où l'ignition est la plus vive est situé aux points de la flamme brillante et dans l'enveloppe extérieure. Quand le fil est très-fin, son diamètre réel paraît augmenter par un effet d'irradiation à mesure qu'on s'approche de la limite supérieure de la flamme bleue ; de sorte que cette zone de transition, où l'air est encore chargé de tout son oxygène, est le lieu du maximum de chaleur.

Voici le procédé que nous avons adopté pour mesurer la température des diverses enveloppes d'une flamme : « On prend deux fils de platine de diamètres différents, réunis par un de leurs bouts au moyen de deux crochets passés l'un dans l'autre et fortement tendus, et en communication par les deux autres bouts libres avec les extrémités du fil d'un galvanomètre. Ces fils de platine doivent avoir de très-petits dia-

mètres pour que les points de jonction puissent prendre la température des milieux où ils se trouvent. En élevant successivement la température de ces points depuis zéro jusqu'à 350°, on trouve que l'intensité du courant électrique croît comme la température. En admettant que cette loi continue au delà, comme on doit le supposer, attendu, d'une part, que l'on est toujours très-éloigné du point de fusion du platine, et, de l'autre, que les deux fils étant de même métal, on n'a pas à craindre les effets thermo-électriques complexes provenant de la différence de deux métaux ; si l'on veut, pour plus d'exactitude, on peut établir la relation entre les déviations de l'aiguille aimantée et la marche du thermomètre à air, en prenant diverses sources de chaleur. » (Voir le *Traité d'électricité*, t. IV, p. 3, et t. V, 1re part.) On place d'abord une des jonctions des deux fils à la partie supérieure de la flamme bleue, où l'air, encore chargé de tout son oxygène, commence à rencontrer la flamme, par conséquent dans l'endroit où la température est le plus élevée ; l'aiguille aimantée est déviée de 22° 50. Quand l'immersion se fait dans la partie blanche ou dans la flamme proprement dite, la déviation est de 20° ; enfin, elle n'est plus que de 17° lorsque les points de jonction se trouvent dans l'espace obscur autour de la mèche ; or, quand on porte la température des points de jonction à 300°, on a une déviation de 8°, correspondante à une intensité double du courant thermo-électrique produit par une température de 150°. En admettant la loi de continuité, et observant que les intensités de courant correspondant aux déviations 22°50, 20°, 17°, sont comme les nombres 54, 44, 32, il s'ensuit que les températures correspondantes seront égales à 1350, 1080 et 780° ; il suit de là que 1350° représenteraient la température la plus élevée que prendrait un fil de platine de $\frac{1}{3}$ de millim. de diamètre dans une flamme d'alcool de 6 millim. de diamètre à la partie supérieure de la mèche. On conçoit très-bien que, s'il était possible de négliger la déperdition de chaleur qui s'effectue à la surface des parties du fil contiguës aux portions immergées, les températures ci-dessus énoncées représenteraient, avec une assez grande approximation, celles des diverses parties d'une flamme à alcool ; mais les résultats étant les mêmes en opérant avec des fils plus fins que ceux désignés ci-dessus, il est permis de croire que le refroidissement indiqué puisse être sensiblement négligé.

Nous ferons remarquer que les expériences relatives à la détermination des diverses enveloppes d'une flamme, sont les premières applications des phénomènes thermo-électriques à la mesure des

températures; les secondes applications se rapportent à celle des parties intérieures des corps organisés.

Si nous comparons les résultats obtenus sur la flamme d'une lampe à alcool avec un fil fin de platine, qui, étant plongé successivement dans trois enveloppes différentes, est devenu rouge blanc, rouge clair et rouge sombre, on verra que les nombres obtenus pour la température correspondent et se rapprochent assez de ceux donnés par Princeps et M. Pouillet; dès lors, les températures les plus hautes, évaluées en degrés du thermomètre à air, ne sont pas aussi élevées que les physiciens le pensaient jadis.

Nouveaux développements relatifs aux lumières artificielles.

Depuis quelques années, on s'est beaucoup occupé de perfectionner les lumières artificielles dans le but de les faire servir à l'éclairage des habitations et des lieux publics. Parmi les personnes qui se sont le plus occupées de ce genre de recherches, nous citerons particulièrement M. Gaudin, connu par d'ingénieuses expériences, et à l'obligeance duquel nous devons la communication des faits suivants.

On a vu, dans le paragraphe précédent, quelles étaient les conditions à remplir pour que le pouvoir éclairant fût à son maximum ; en y ayant égard, M. Gaudin a reconnu que les éclairages les plus économiques étaient ceux alimentés par les matières carbonacées brûlant dans l'oxygène ou dans l'air, et que les composés donnant les plus grands effets pouvaient être classés ainsi, suivant l'intensité de la lumière émise, les premiers donnant la lumière la plus éclatante :

1° Les huiles essentielles brûlant avec l'oxygène avec production d'une fumée très-dense.

2° Le gaz hydrogène imprégné d'huile essentielle, brûlant avec l'oxygène.

3° L'alcool, l'éther sulfurique ou le gaz de houille mélangé d'huile essentielle, brûlant avec l'oxygène et produisant la flamme sidérale de M. Gaudin.

4° Le gaz hydrogène imprégné d'huile essentielle, brûlant dans l'oxygène. Belle lumière.

5° Le gaz de houille accompagné d'huile essentielle, brûlant dans l'air; c'est le gaz sidéral.

6° Enfin, le gaz de houille brûlant dans l'air.

La blancheur de ces flammes suit l'ordre des intensités. Quant aux couleurs, les rayons violets sont en plus grand nombre dans les

flammes alimentées par l'oxygène, que dans celles alimentées par l'air; néanmoins les rayons jaunes sont toujours ceux qui dominent le plus.

En comparant l'ombre des flammes sidérales avec celle du gaz de houille, celle-ci est rouge, l'autre bleue; la première, comparée à l'ombre de la lumière solaire, donne, par un effet de contraste, une ombre bleue, et la seconde une ombre d'un jaune pur; les rayons jaunes dominent dans les flammes sidérales, et les rayons rouges dans les flammes de gaz de houille, d'huile ou de bougie.

Passons à l'intensité des flammes mesurées au moyen de l'intensité de l'ombre. Les flammes sidérales, à dimensions égales, éclairent cent cinquante fois autant que la flamme du gaz de houille brûlant dans un bec d'Argant; celles des gaz chargés d'huiles essentielles et brûlant dans l'air ont une intensité de cinq à dix fois plus considérable que la flamme du gaz de houille. C'est au gaz hydrogène qu'appartient l'intensité dix fois plus considérable.

M. Gaudin a cherché aussi à déterminer le pouvoir d'irradiation des substances plongées dans les flammes, lesquelles substances augmentent souvent d'une manière incroyable leur intensité. Il a soumis successivement à l'expérience la chaux, la magnésie, l'iridium, l'alumine et la silice.

La chaux et la magnésie donnent des lumières à peu près semblables à la lumière solaire quant à leur composition, et sous le rapport des rayons colorés.

Au moyen de la comparaison des ombres, M. Gaudin a reconnu que la lumière produite par l'irradiation de la magnésie est plus blanche que celle qui est due à l'irradiation de la chaux. Elle est en même temps plus riche en rayons violets. Outre cet avantage pour son emploi dans les arts, il en est un autre qui doit faire préférer la magnésie à la chaux, c'est qu'une fois calcinée, elle ne change plus d'état, c'est-à-dire qu'elle ne se carbonatise pas quand elle cesse d'être employée, tandis que la chaux, en s'hydratant et se carbonatisant, se délite et exige une nouvelle préparation pour fonctionner de nouveau.

L'iridium donne aussi une lumière éclatante, mais, à intensité égale, cette substance exige plus de gaz que la chaux et la magnésie. Quand un fragment d'iridium a servi pendant quelque temps, ses arêtes, ou plutôt ses bords, sont arrondis par suite d'un commencement de fusion, et sa surface présente un éclat argentin.

L'alumine possède un grand pouvoir d'irradiation, mais sa fusibi-

lité est telle, que cette substance ne peut être employée à cet usage dans les arts.

La silice est à peu près privée du pouvoir d'irradiation, car elle arrive à son point de fusion sans éclairer sensiblement. C'est à cet instant seulement, c'est-à-dire au moment où elle fond, qu'elle brille subitement d'un éclat stellaire, qui est tel que si l'on présente au dard du chalumeau un fil de cristal de roche, fondu en boule à chaque extrémité, toute la surface de ce fil paraît sombre, tandis que les extrémités brillent l'une et l'autre d'un commun éclat. L'irradiation produite à l'extrémité opposée à celle exposée au dard du chalumeau, est due à une réflexion de la lumière.

M. Gaudin a constaté avec le daguerréotype que la lumière produite par la magnésie possédait une plus grande quantité de rayons violets que les flammes sidérales proprement dites. Les portraits qu'il a exécutés avec ces dernières ont demandé plus de temps qu'avec l'autre lumière; dans le premier cas, au bout de 20 à 25″ ils n'étaient pas terminés, tandis que dans le second, en employant la magnésie, 15″ suffisaient. Cette différence dans les effets provient, nous le répétons, d'une plus grande quantité de rayons jaunes dans la lumière sidérale, lesquels sont peu photogéniques.

Des raies observées dans les spectres des flammes.

Les spectres résultant de la transmission de lumières artificielles à travers un prisme, sont aussi réguliers que ceux de la transmission de la lumière solaire au travers du même prisme. Si l'on expérimente avec le suif, avec différents combustibles, tels que l'huile, le papier, l'alcool, etc., qui donnent des flammes bleues quand la combustion est imparfaite, on trouve que leurs spectres sont discontinus, et consistent, la plupart, en lignes étroites, d'une réfrangibilité très-restreinte et séparées par deux grands intervalles noirs. On y distingue particulièrement le jaune, qui est très-étroit, le vert jaunâtre, le vert d'émeraude, le bleu pâle et beaucoup de violet. Dans le spectre de la flamme d'une chandelle, on aperçoit à la place de la raie D du spectre solaire une raie blanche. Quand la combustion est vive, comme dans le cas où l'on avive la flamme d'une lampe à huile avec un chalumeau, ou bien quand on jette dedans de la fleur de soufre, on voit alors une lumière jaune très-abondante, brillante et parfaitement homogène. Avec le soufre, surtout, tout le spectre est jaune. On obtient un résultat semblable avec la flamme d'un mélange d'alcool et d'eau chauffé préalablement.

La flamme du cyanogène, vue à travers une ouverture étroite, présente une teinte pourprée avec un liséré terminal jaune verdâtre. Si on l'analyse avec un prisme, on trouve que le spectre est divisé en plusieurs parties limitées par plusieurs bandes obscures, qui partagent assez uniformément toute son étendue; les parties lumineuses ont à peu près toutes la même intensité.

Les matières combustibles mélangées avec du nitrate de strontiane brûlent avec une flamme ayant deux teintes rouges brillantes; le spectre formé avec le prisme présente de nombreuses solutions de continuité, et, ce qu'il y a de plus remarquable, une ligne extrêmement brillante d'un bleu vif.

Le docteur Brewster a reconnu que le spectre formé par la lumière après son passage à travers le gaz nitreux, est traversé par une série de raies fixes. Des expériences du même genre ont été faites par M. Daniell et le professeur Miller, en se servant de la lumière d'une lampe à gaz, après qu'elle eut traversé un vase rempli de vapeur, et rendue convergente avec une lentille. La lumière ainsi concentrée était analysée avec un prisme, au moyen d'une lunette qui y était adaptée. Les dispositions étaient faites pour que les angles formés avec les deux faces du prisme fussent égaux. L'air du vase était-il coloré par la vapeur de brôme, tout le spectre était occupé par plus de cent lignes placées à égale distance les unes des autres. La vapeur devenant plus dense, la partie violette du prisme disparut, et les lignes devinrent plus fortes dans la partie rouge. Avec la vapeur d'iode, les effets furent semblables, si ce n'est qu'en augmentant la densité on n'aperçut aucun effet sensible sur l'étendue visible du spectre, ni sur la largeur des lignes. Avec la vapeur de chlore, l'extrémité bleue du spectre disparut, sans apparence d'aucune ligne. La vapeur d'euchlorine produisit un certain nombre de lignes, placées à des intervalles irréguliers, mais seulement dans la partie du spectre qui est éteinte par le chlore.

Des modifications subies par la flamme dans diverses circonstances.

Nous allons encore prendre Davy pour guide dans l'analyse que nous allons faire des modifications qu'éprouve la flamme dans diverses circonstances où il est nécessaire de l'étudier pour bien connaître toutes les causes qui concourent en général à sa production. Cette analyse est d'autant plus importante qu'elle pourra nous mettre

sur la voie de la formation de la lumière dans les actions chimiques. Examinons successivement les effets de la raréfaction et de la chaleur sur l'inflammation des gaz, puis les effets de différents mélanges gazeux sur la combustibilité des gaz qui s'enflamment, non au moyen de l'étincelle électrique, car nous traiterons séparément cette question, mais à l'aide de la chaleur; et enfin, la propriété de l'hydrogène ou d'un gaz inflammable en combustion, de rougir un fil ou une éponge de platine, quoique brûlant sans flamme; toutes questions qui intéressent la théorie des flammes.

Commençons par l'inflammation des gaz dans un air très-raréfié.

Le petit appareil à gaz hydrogene, connu en chimie sous le nom de lampe philosophique, produit une flamme de 4 à 5 millimètres de haut, placée sous le récipient d'une machine pneumatique, renfermant de 2 à 3 décimètres cubes d'air; cette flamme s'élargit à mesure qu'on fait le vide, et atteint son maximum de grandeur quand la pression intérieure est quatre ou cinq fois moindre que celle de l'atmosphère. En continuant à faire le vide, la flamme diminue de grandeur jusqu'à ce que la pression soit sept ou huit fois moindre; alors elle s'éteint. Avec un jet plus considérable, la flamme dure plus longtemps, car elle ne s'éteint que lorsque la pression est dix fois moindre. Dans ce cas, la chaleur dégagée devient si considérable, que le bout du tube peut s'échauffer jusqu'au rouge blanc. Le dégagement considérable de chaleur est la cause de la plus grande durée de la combustion. En effet, si, lorsque le jet de flamme est de 4 millimètres, on place dedans un fil fin de platine, qui ne tarde pas à rougir, on peut maintenir la combustion jusqu'à ce que la pression intérieure soit treize fois moindre que celle de l'atmosphère. On voit par là que la raréfaction de l'air ou du principe comburant n'éteint tout à fait la flamme de l'hydrogène que lorsque la chaleur produite est insuffisante pour entretenir la combustion. Il s'ensuit que les corps qui exigent une moindre chaleur pour leur combustion, sont précisément ceux qui brûlent dans un air plus raréfié. Il en est de même à l'égard de ceux qui dégagent beaucoup de chaleur.

Ces conséquences ont été vérifiées dans la combustion du gaz oléfiant, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène sulfuré et du soufre. Ce dernier, qui brûle à une température plus basse qu'aucune autre substance inflammable, le phosphore excepté, donne une flamme bleue très-faible dans un air raréfié quinze fois. La chaleur dégagée suffit pour chauffer un fil fin de platine jusqu'au rouge obscur; la flamme ne disparaît entièrement que lorsque la pression est réduite à 1/20.

Le phosphore brûle à une température bien plus basse; car, suivant Van Marum, la combustion est encore sensible dans une atmosphère raréfiée soixante fois; et l'hydrogène phosphoré, d'après Davy, produit un éclair lumineux dans le vide le plus parfait que nous puissions obtenir.

En général, on peut dire qu'en conservant la chaleur dans l'air raréfié, ou bien en échauffant le mélange, on peut prolonger l'inflammation.

La raréfaction de l'air ou du principe comburant par la chaleur doit produire sur la combustion des effets analogues à ceux obtenus par la raréfaction au moyen de la machine pneumatique.

L'expérience suivante va donner de suite une idée des effets du premier mode de raréfaction de l'air : Davy ayant introduit dans un tube gradué sur du mercure qui avait bouilli, un mélange de 2 part. d'hydrogène et 1 part. d'oxygène, chauffa le tube avec une lampe à alcool jusqu'à ce que le volume fût augmenté de 1 à 2,25; avec une autre lampe et un autre chalumeau, il fit rougir la partie supérieure du tube; l'explosion eut lieu aussitôt. Voici encore une autre expérience qui prouve, comme du reste il était facile de le voir *à priori*, que l'expansion par la chaleur, au lieu de diminuer la combustibilité du gaz, rend, au contraire, le mélange plus apte à s'enflammer avec explosion à une température plus basse.

Des mélanges d'oxygène et d'hydrogène ont été introduits dans des tubes, où ils étaient échauffés sur du métal fusible fondu. On a élevé la température au-dessous de celle nécessaire pour rendre le verre lumineux dans l'obscurité. La combinaison s'est alors opérée lentement sans lumière. A partir de 100°, le volume de la vapeur formée paraissait égaler celui des gaz primitifs. En portant rapidement la chaleur jusqu'au rouge, l'explosion eut lieu avec dégagement de chaleur. Le mélange explosif ne détona avec un charbon ardent que lorsqu'il était rouge, à la lumière du jour et débarrassé de cendres; au rouge sombre, le phénomène était moins sensible.

L'hydrogène carburé ou le gaz hydrogène des mines exige une très-forte chaleur pour détoner. On peut l'employer avec avantage pour étudier les effets de la combustion à de hauts degrés de raréfaction par la chaleur.

Passons aux effets de la condensation. On enferme sur le mercure, et on chauffe peu à peu au bain de sable, un mélange d'oxygène et de gaz hydrogène biphosphoré; en chauffant à 116°,7 centig.

le mercure, l'explosion a lieu. Si l'on met un mélange d'oxygène et de gaz hydrogène biphosphoré qui fait explosion à une température un peu supérieure à celle de l'eau bouillante, dans un récipient communiquant avec une pompe foulante, puis qu'on le condense sur le mercure de manière à ne lui plus faire occuper que le cinquième de son volume primitif, il n'y a ni détonation ni aucun changement chimique, comme on peut s'en assurer en ramenant les gaz à leur premier volume; mais alors, si on l'approche d'une lampe à alcool, l'explosion a lieu. On peut tirer de là la conséquence que la chaleur, abandonnée par la compression des gaz, est la vraie cause de la combustion qu'elle produit, et qu'à certaine élévation de température, soit dans des atmosphères raréfiées et condensées, il y a explosion ou combustion, c'est-à-dire, combinaison avec dégagement de chaleur et de lumière. Les phénomènes de l'explosion et de la combustion, à l'aide de la chaleur, sont modifiés par le mélange de divers gaz.

A quelques degrés au-dessous de zéro, le phosphore luit faiblement. Dans le gaz oxygène pur, il ne devient lumineux que lorsqu'on a élevé la température vers 24 à 28°, et ne tarde pas à prendre feu. L'effet lumineux cesse par le refroidissement, et reparaît en introduisant une petite quantité de gaz azote. D'où vient l'influence de ce gaz? Le pouvoir refroidissant des mélanges gazeux, pour empêcher la combustion, doit augmenter par leur condensation et diminuer par leur raréfaction. La quantité de matière qui entre en même temps en combinaison dans des espaces donnés augmente ou diminue d'une manière relative.

En résumé, lorsque des gaz purs brûlent avec flamme, la lumière est extrêmement faible; la densité d'une flamme ordinaire est proportionnelle à la quantité de charbon solide qui se dépose d'abord et brûle ensuite. La flamme a la forme d'un cône, parce que la plus grande chaleur est au centre du mélange explosif. L'endroit où la matière combustible se volatilise paraît obscur en comparaison de l'endroit où elle commence à brûler; là, cette vapeur se mêle tellement à l'air qu'elle en devient explosive; la chaleur diminue vers le sommet de la flamme, parce que c'est là qu'il y a le moins d'oxygène. Quand la mèche devient d'une grosseur considérable par l'accumulation du charbon, elle refroidit la flamme par rayonnement, et empêche une quantité d'air de se mêler à sa partie centrale. Dès lors le charbon, dégagé du sommet de la flamme, ne fait que rougir, et s'échappe en très-grande partie sans être consumé.

L'intensité de la lumière des diverses flammes dans l'atmosphère augmente par la condensation et diminue par la raréfaction; les atmosphères devenant plus denses, contiennent plus de particules capables d'émettre de la lumière; et d'ailleurs la plupart de ces particules absorbent de la chaleur pour devenir lumineuses.

Ces faits généraux ont conduit Davy à des expériences très-curieuses qui ont mis M. Dobereiner sur la voie des propriétés des éponges métalliques. L'oxygène et le gaz inflammable en contact avec un fil suffisamment chaud se combinent sans flamme, et produisent cependant assez de chaleur pour maintenir le fil dans un état d'ignition et entretenir leur propre combustion. Il suffit d'une température bien au-dessous de l'ignition pour produire ce phénomène. On peut l'obtenir avec des mélanges de gaz oléfiant et d'air, avec ceux d'oxyde de carbone, de cyanogène et d'hydrogène. Dans ce dernier cas, il y a production rapide d'eau. Avec un fil de même diamètre, l'ignition est plus grande dans l'hydrogène que dans les mélanges de gaz oléfiant, et plus intense dans les mélanges de gaz oléfiant que dans ceux de gaz oxyde de carbone.

Avec un fil de $\frac{1}{3}$ de mill. de diamètre, la chaleur dans les mélanges très-combustibles augmente au point de les faire détoner. On peut produire ce phénomène avec de l'alcool et de l'éther. Si l'on met une goutte d'éther dans un verre froid, ou une goutte d'alcool dans un verre chaud, et que l'on chauffe un fil de platine de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$ de millim. de diamètre roulé en spirale, puis qu'on le plonge dans le verre, il devient resplendissant, presque d'un rouge blanc, et reste tel tant qu'il y a une quantité suffisante de vapeur et d'air.

Si l'expérience est faite dans l'obscurité avec l'éther, on aperçoit au-dessus du fil une lumière pâle, phosphorescente, qui est très-visible quand le fil cesse d'être en ignition. Ce phénomène est accompagné de la formation d'une substance volatile et piquante, possédant les propriétés acides, et qui est composée d'hydrogène, de carbone, d'oxygène.

Davy, en mettant à profit les propriétés dont nous venons de parler, a composé une lampe sans flamme, à laquelle il a donné le nom de lampe aphlogistique, et dont voici la construction : on enroule autour de la mèche d'une lampe à alcool un fil de platine de $0^m,025$ de diamètre, en ayant l'attention qu'une partie du fil la dépasse. On allume le coton, et le fil rougit aussitôt, puis on éteint la mèche; mais la portion du fil située au-dessus est entourée d'un mélange d'air et de vapeur d'alcool fournie par la mèche, lequel con-

tinue à brûler en répandant une faible lueur qui permet de distinguer les objets environnants. Une lampe construite d'après ce principe ne consume guère plus de 16 grammes d'alcool en huit heures; elle ne répand aucune odeur désagréable. Il est nécessaire de nettoyer de temps à autre le fil.

Une combustion lente produit des changements chimiques intéressants. Un fil de platine introduit dans les circonstances ordinaires, dans un mélange de cyanogène et d'oxygène, s'échauffe jusqu'au blanc; il y a formation de vapeur jaune et d'acide nitreux. Il se forme beaucoup d'oxyde de carbone dans un mélange de gaz oléfiant. Le platine et le palladium produisent seuls le phénomène. Une couche mince de matière carbonacée empêche totalement l'ignition du platine; une légère couche de sulfure produit le même effet sur le palladium. Davy attribue cet effet à ce que ces couches augmentent le pouvoir rayonnant de ces métaux. Une grande surface de platine peut rougir dans la vapeur de l'éther lorsque les lames sont minces.

Des propriétés des toiles métalliques.

Rappelons-nous que la lumière des flammes ordinaires dépend presque entièrement de l'ignition et de la combustion du charbon solide qui se dépose, et que la quantité de chaleur dégagée pendant la combustion est proportionnelle à la quantité de matière qui brûle et qui est en contact avec le corps que l'on veut chauffer. Or il est possible, tout en conservant à la flamme sa lumière, de lui enlever une portion de sa chaleur en y introduisant un fil, et à plus forte raison une toile métallique. La quantité de chaleur enlevée par celle-ci suffit pour lui ôter en même temps une partie des propriétés qu'elle possède d'enflammer d'autres corps; or, comme dans la même circonstance la flamme perd peu de sa faculté éclairante, on conçoit sur-le-champ l'avantage qu'il y a à se servir des toiles métalliques pour empêcher l'inflammation des gaz au milieu desquels une lampe allumée peut se trouver; c'est à Davy que l'on doit cette belle application des propriétés des toiles métalliques dont nous allons indiquer les principes généraux. La diminution de la température étant proportionnelle à la masse de la toile, et par conséquent en rapport avec la petitesse des ouvertures, le pouvoir d'une toile métallique, pour prévenir l'explosion, dépend de la chaleur requise pour produire la combustion, comparée avec celle acquise par le tissu. Il résulte de là que plus la flamme dégage de chaleur dans la combustion, plus la texture doit

être serrée. Ainsi, le même tissu peut laisser passer une flamme et en intercepter une autre qui dégage moins de chaleur.

Une toile de 14 ouvertures par centimètre carré, formée avec un fil d'un demi-millimètre de diamètre, intercepte à la température ordinaire la flamme d'une lampe à alcool, et non celle de l'hydrogène; si on chauffe ce tissu, il n'arrêtera pas la flamme de la lampe à alcool. On pourrait citer un grand nombre d'exemples du même genre.

La combustibilité comparative des diverses substances gazeuses est, jusqu'à un certain point, en raison de la masse que doit avoir le corps échauffé pour que l'inflammation ait lieu. Un fil de fer de 7 millimètres de diamètre chauffé, au rouge cerise, n'allume pas le gaz oléfiant, tandis qu'il enflamme le gaz hydrogène; mais s'il a 3 millimètres, chauffé au même degré, il enflamme le gaz oléfiant. Un fil de 5 millimètres doit être chauffé jusqu'au blanc pour allumer l'hydrogène; à une chaleur à peine rouge, il enflamme le gaz hydrogène biphosphoré. On voit pourquoi il faut un tissu très-fin et très-serré pour empêcher l'explosion d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène, tandis qu'un tissu lâche et grossier suffit pour prévenir l'explosion de l'air inflammable des mines, qui est le moins combustible des gaz inflammables connus.

Les effets obtenus sur la flamme du soufre mettent en évidence l'action des toiles métalliques : une toile de 85 à 100 ouvertures par centimètre carré placée au-dessus de la flamme, produit les effets suivants. Il passe d'abord au travers des vapeurs de soufre condensées, et la flamme est interceptée. La fumée continue quelques instants, diminue à mesure que la chaleur augmente, et au moment où elle disparaît, ce qui arrive bien avant que le tissu soit rouge, la flamme passe; la température qui convient à la combustion du soufre étant celle à laquelle il devient gazeux.

Quand des courants rapides de mélanges explosifs agissent sur un tissu métallique, ils s'échauffent très-promptement; c'est pourquoi le même réseau qui arrête les flammes des mélanges explosifs en repos, les laisse passer lorsqu'ils se meuvent avec rapidité; mais si l'on agrandit la surface refroidissante en diminuant la grandeur de l'ouverture, ou en en augmentant la profondeur, on peut arrêter toutes les flammes, malgré la rapidité de leur mouvement. Ces faits et quelques autres démontrent que si la flamme est interceptée par des tissus solides, perméables à la lumière et à l'air, cette propriété dépend uniquement de leur pouvoir refroidissant. On voit maintenant ce

qui doit arriver avec une lumière renfermée dans une cage de toile métallique, introduite dans une atmosphère de gaz explosible en repos : les fils ne tardent pas à arriver à leur maximum de chaleur; leur pouvoir rayonnant et la faculté refroidissante de l'atmosphère devenant plus efficaces par le mélange de gaz inflammable, ne leur permettent plus d'arriver à une température égale à celle du rouge qui est nécessaire pour l'inflammation. On peut donc, en employant des tissus suffisamment serrés, empêcher le rouge obscur et éviter la détonation, qui cause souvent de funestes accidents dans les mines de houille ou autres, où il se dégage une grande quantité de gaz hydrogène carboné.

Nous donnerons ici, d'après M. Baillet, la description d'une lampe de sûreté (fig. 1, pl. IX), construite d'après les principes que nous venons d'exposer, et qui réunit tous les avantages que l'on peut désirer, solidité, simplicité et confection peu dispendieuse.

On distingue dans une lampe de sûreté trois parties principales : 1° le réservoir à l'huile; 2° la toile métallique; 3° la cage qui sert à fixer la toile sur le réservoir et à la garantir de tout choc.

Le réservoir *a* est cylindrique, plus large que haut, afin que l'huile qu'il renferme soit moins éloignée de l'extrémité allumée de la mèche, et puisse l'alimenter facilement; le fond supérieur de ce réservoir est percé d'une ouverture circulaire de 18 à 20 millimètres de diamètre, que recouvre la plaque horizontale du porte-mèche, et il est surmonté d'un anneau cylindrique dont la surface verticale intérieure est taillée en écrou. On introduit l'huile dans le réservoir au moyen d'un tube extérieur dont l'orifice extérieur est fermé avec une vis en cuivre, et l'ouverture inférieure s'approche le plus près possible du fond.

Un tube *d* (fig. 2, pl. IX), ouvert par les deux bouts, est soudé sur le fond du réservoir et s'élève jusqu'au-dessus de la plaque du porte-mèche, qu'il traverse; il est destiné à contenir une tige cylindrique, qui le remplit entièrement, et dont le bout supérieur est recourbé en forme de crochet pour servir à régler la mèche. L'extrémité inférieure de cette tige est repliée à angle droit, afin qu'on puisse la placer et l'arrêter sur la languette ou plaque *f*, dont un bout est libre, et dont l'autre est soudé sous le réservoir.

Un autre tube *g* traverse les deux fonds du réservoir, et il y est soudé hermétiquement; il sert au passage d'une tige à vis (fig. 3) qui tient la lanterne fermée et ne permet de l'ouvrir qu'avec la clef (fig. 4) qui convient à la tête de cette vis. L'orifice de ce tube est

bouché au moyen d'une plaque ou cache-entrée *u*, qui tourne sur un clou rivé.

Le porte-mèche *h* est un petit tube vertical de 5 millimètres de diamètre et de 30 millimètres de longueur; il est soudé au centre d'une plaque horizontale *i* de 45 millimètres de diamètre; il a sur le côté, un peu au-dessous de son extrémité supérieure, une ouverture rectangulaire *k*, pour y introduire à volonté le crochet qui sert à relever ou à noyer la mèche.

L'enveloppe *l*, ou toile métallique, contient 140 ouvertures par centimètre carré; sa hauteur est de 15 à 17 centimètres; son extrémité supérieure a 35 millimètres de diamètre, et son extrémité inférieure 38 ou 40. Elle a la forme d'un cylindre un peu conique, ce qui permet de la faire entrer dans la cage et de l'en retirer facilement; elle est ouverte, et son bord *m* est replié en dehors, sur une largeur de 2 à 3 millimètres; ou, ce qui vaut mieux, ce bord est serré étroitement par un lien de fer dans la gorge d'une rondelle de cuivre. Dans la crainte que la partie supérieure de l'enveloppe ne soit trouée, ce qui provoquerait une explosion, on la recouvre par une seconde enveloppe *o*, longue de 3 à 4 centimètres, et dont le fond est élevé de 12 à 15 millimètres au-dessus du fond de la première; les jointures de ces enveloppes doivent être doubles ou à bords repliés l'un sur l'autre pour qu'il n'y ait aucune ouverture plus grande que les interstices du tissu. Au lieu de la seconde enveloppe, on peut adapter au sommet de l'enveloppe ou cheminée *e*, un chapiteau cylindrique de cuivre *p*, et percé de trous aussi petits que les mailles de la toile métallique, fig. 5. La cage *q* est composée de quatre ou cinq gros fils de fer, longs de 18 ou 19 centimètres, fixés par leur bout inférieur sur le bord d'un anneau de cuivre *r*, et par leur autre bout sur une plaque de tôle *s*, de 7 à 8 centimètres de diamètre. L'anneau *r* porte sur sa surface verticale extérieure quatre ou cinq pas de vis.

La plaque *s* est assez large pour couvrir le cylindre et le réservoir, et empêcher que des gouttes d'eau qui peuvent tomber d'en haut ne pénètrent dans la lanterne et n'éteignent la lampe; elle est munie d'un anneau et d'un crochet *t*, pour qu'on puisse porter la lampe à la main, l'accrocher à la boutonnière de l'habit ou l'attacher où l'on veut.

On fait entrer le cylindre de toile métallique dans cette cage jusqu'à ce que son bord inférieur *m* ou la virole *n*, sur laquelle ce bord est fixé, soit en contact avec l'anneau *r*; cet anneau se visse ensuite dans

l'écrou du réservoir, et il fixe ainsi en même temps la cage, le cylindre et le porte-mèche, et les maintient en place.

CHAPITRE III.

Lumière électrique.

Toutes les fois que les deux électricités accumulées sur deux corps placés à distance ont une tension suffisante pour vaincre la résistance de l'air, la recomposition s'opère ordinairement avec accompagnement de lumière ou sous forme d'étincelles : c'est la lumière électrique. Nous citerons pour exemple la décharge de la bouteille de Leyde et celle de la pile de Volta, quand on établit la communication entre les deux pôles. La tension nécessaire pour que la lumière électrique se développe, ainsi que la couleur de cette lumière, dépendent de la forme des corps, de la pression des milieux gazeux que traverse la décharge, et même de leur nature. Quand les corps sont arrondis, la tension doit être plus forte que lorsqu'ils sont anguleux.

La lumière électrique est d'autant plus brillante que les corps conduisent mieux l'électricité. Avec des corps mauvais conducteurs, la lumière s'affaiblit, et, suivant la couleur de ces corps, prend des teintes violacées, puis rouges, toutes modifications que nous retrouvons quand les corps combustibles brûlent plus ou moins lentement.

D'après ces données, on conçoit que la lumière devienne blanche et brillante quand la décharge s'opère dans un milieu condensé, tandis qu'elle prend une teinte rougeâtre quand le milieu est raréfié. Dans le premier cas, en raison de la résistance de l'air, il faut une plus grande tension que dans le second. Dans le vide, la lumière est diffuse, parce que l'électricité n'étant plus retenue, du moins en grande partie, sur les corps par la pression de l'air, s'échappe à mesure qu'elle arrive sur la surface du corps.

Il existe d'autres causes qui modifient la couleur électrique, telles que la présence de particules matérielles dans le milieu traversé par la décharge.

Davy a fait à ce sujet une série d'expériences très-curieuses que

nous avons rapportées dans le *Traité d'électricité*, tom. II, p. 211.

Il résulte de ces recherches que lorsqu'on élève la température du mercure dans le vide barométrique, la lumière électrique qui traverse ce vide se montre d'une couleur verte, en raison des vapeurs mercurielles, et que si l'on élève graduellement la température jusqu'à l'ébullition du mercure, la décharge d'une batterie de quelques bocaux y produit une lumière très-éclatante, tandis qu'en refroidissant le mercure, elle s'affaiblit peu à peu, et tellement qu'à 20° au-dessous de zéro la lumière est si faible qu'elle n'est visible que dans une obscurité très-profonde. Cet effet ne dépend que de la distance qui doit être parcourue par l'électricité, car une expérience très-simple démontre que la lumière électrique, produite par la décharge d'une forte batterie dans le vide, donne une lumière aussi vive et aussi brillante que lorsque la décharge a lieu dans l'air; l'expérience se fait de la manière suivante :

On prend un récipient en verre, traversé dans sa partie supérieure par une tige de laiton, terminée à chaque extrémité par une petite boule de métal; dans une des parties latérales du récipient est adaptée une tige semblable, passant ainsi que l'autre dans une boîte à cuir, ce qui permet d'écarter ou d'approcher les boules intérieures. Celles-ci étant placées à 1 ou 2 centimètres de distance, et le vide ayant été fait dans le récipient, on fait passer de l'une à l'autre la décharge d'une batterie composée d'un certain nombre de bocaux, en mettant en communication les deux tiges avec les deux surfaces de la batterie. Cette décharge s'opère en produisant des effets lumineux aussi marqués que si elle eût eu lieu dans l'air. Si donc l'électricité, dont la tension est peu considérable, donne une lumière faible et diffuse dans le vide, cette lumière devient vive et éclatante quand la tension est considérable. Nous tâcherons d'expliquer cette différence dans les effets quand nous chercherons à interpréter les causes qui concourent à la production de la lumière électrique. Continuons l'examen de la lumière électrique développée dans le vide lorsque celui-ci renferme des parties matérielles de diverse nature.

L'appareil dont s'est servi Davy, et qui est décrit t. II, p. 211 de notre *Traité d'électricité*, est tellement disposé qu'on peut y faire entrer à volonté de l'air ou d'autres substances gazeuses. Voici les principaux résultats qu'il a obtenus :

En introduisant dans le vide mercuriel la plus petite quantité d'air, la couleur ordinaire changeait du vert au vert de mer; par de nouvelles additions, elle passait au bleu et au pourpre. En faisant le vide

au-dessus de l'alliage fusible, afin de ne pas avoir sensiblement de matières pondérables dans le vide, la lumière était pâle, d'un jaune pâlle. Lorsque le vide était fait sur l'huile d'olive et le chlorure d'antimoine, la lumière, dans ce dernier cas, était plus marquée qu'avec l'huile. Ces différents effets tendent à prouver que les propriétés lumineuses de l'électricité appartiennent en partie à la matière pondérable, à travers laquelle les décharges sont transmises. Cependant, nous devons ajouter que l'espace dans lequel il n'y a pas de quantité appréciable de cette matière, est apte à transmettre les effets lumineux, quand l'intensité de la décharge est suffisante. Si la présence de la matière n'est pas indispensable pour la production de la lumière électrique, on ne peut disconvenir qu'elle ne modifie singulièrement la lumière, par un effet analogue à celui que l'on observe quand on brûle du gaz hydrogène pur et du gaz hydrogène carboné, c'est-à-dire un gaz dans lequel se trouvent des corpuscules en ignition et en combustion. Nous reviendrons dans un instant sur la cause probable de la lumière électrique; avant, nous devons faire connaître les beaux phénomènes de lumière qui accompagnent la décharge de fortes piles voltaïques, attendu qu'ils nous fourniront encore de nouveaux éléments pour discuter la question.

Lorsque l'on fait passer dans de l'eau, à l'aide de deux conducteurs de métal, terminés chacun par un morceau de charbon bien cuit, la décharge d'une batterie voltaïque à larges plaques, de vives étincelles jaillissent de chaque côté du charbon, dont la température s'élève jusqu'au rouge blanc; ce phénomène est accompagné d'un dégagement abondant de gaz. Les effets lumineux sont à peu près les mêmes quand on substitue à l'eau des liquides mauvais conducteurs, tels que des huiles fixes ou volatiles, de l'éther, de l'alcool, etc., ou bien des liquides bons conducteurs, tels que les acides nitrique, sulfurique, etc. Il est probable que l'ignition du charbon dépend de ce qu'étant entouré de globules de gaz, la chaleur ne peut être transmise immédiatement au liquide environnant. Les effets lumineux sont beaucoup plus brillants quand on opère dans l'air et mieux encore dans le vide avec les deux morceaux de charbon, et employant une pile composée d'un grand nombre d'éléments. L'expérience fut faite la première fois par Davy avec une pile composée de deux mille couples. Voici les dispositifs de cette expérience remarquable, qui fait époque dans l'histoire de l'électricité, en raison de son importance : L'appareil employé était formé d'un manchon en verre, aux deux extrémités duquel étaient adaptées deux boîtes à cuir, dans les-

quelles passaient deux fortes tiges, pouvant s'approcher ou s'écarter à volonté. A chaque bout de ces tiges, dans l'intérieur, était fixé un petit cône de charbon bien recuit. Les sommets des deux cônes ayant été placés à une très-petite distance l'un de l'autre, on mit les deux tiges en communication avec les pôles de la pile, et l'on fit le vide dans l'appareil. La décharge franchit l'intervalle qui séparait les deux charbons, et au même instant parut un jet de lumière dont l'éclat était supérieur à celui des lumières artificielles. L'émission de chaleur fut tellement grande, que le charbon fut volatilisé. On put éloigner les deux pointes de charbon jusqu'à la distance de 1 décimètre, sans que le jet de lumière fût interrompu. Nous ajouterons que l'éclat de lumière était tel, que la rétine en fut affectée au point de ne pouvoir supporter la lumière. Non-seulement le charbon fut volatilisé, mais différentes substances, telles que la magnésie, la chaux, le saphir, etc., placées dans le trajet de la décharge, entrèrent facilement en fusion.

On peut obtenir des effets lumineux d'une grande intensité, et que l'œil peut difficilement supporter, avec une pile à la Wollaston, composée de dix bocaux d'une grandeur ordinaire, avec un morceau de charbon bien recuit et refroidi dans le mercure, afin de le rendre bon conducteur. On fixe ce morceau de charbon à un des fils conducteurs de la pile, et on le touche avec un fil de platine de 1 à 2 millimètres de diamètre, en communication avec l'autre pôle; il s'opère alors une combustion des plus vives. Le dégagement de lumière est extrêmement intense, et celui de la chaleur si fort, que le bout du fil de platine fond comme du plomb. En général, on peut obtenir des effets de lumière et de chaleur d'une grande intensité avec des appareils voltaïques de médiocre grandeur, pourvu que l'on proportionne le diamètre des fils métalliques qui servent à transmettre les décharges aux dimensions des couples voltaïques.

Nous avons dit que la lumière électrique, ou du moins sa couleur et son intensité, en traversant des gaz, ne paraissaient dépendre principalement que de leur tension; cependant cette cause n'est pas la seule, car la nature propre du gaz intervient d'une certaine manière dans le caractère spécifique de l'étincelle. M. Faraday a fait quelques recherches à ce sujet, dont les résultats pouvaient être prévus d'après les observations de Davy et de M. Weathstone. Il a reconnu, entre autres, à pression égale, que dans l'air les étincelles ont cette lumière intense et cette couleur bleue que nous leur reconnaissions. Elles ont

souvent des parties claires et obscures dans leur trajet, c'est-à-dire qu'elles montrent des solutions de continuité quand la quantité d'électricité est peu considérable. Dans l'azote, elles ont la même apparence que dans l'air, si ce n'est que la couleur bleue ou pourpre est plus prononcée. Dans l'oxygène, les étincelles sont plus blanches que dans l'air ou dans l'azote, mais non aussi brillantes. Dans l'hydrogène, elles présentent une belle couleur cramoisi qui n'est pas due à sa faible densité, car elle disparaît quand on raréfie le gaz. Dans le gaz acide carbonique, la couleur est semblable à celle de l'étincelle dans l'air, mais avec un peu de couleur verte. Dans le gaz chlorhydrique, l'étincelle est presque toujours blanche, sans parties obscures. Dans l'oxyde de carbone, elle est verte, rouge, tantôt l'un, tantôt l'autre.

Pour bien étudier le développement de l'étincelle dans l'air, à mesure que la distance augmente entre deux boules chargées d'électricité contraire, on opère de la manière suivante, comme nous l'avons fait avec M. Edm. Becquerel. On emploie à cet effet la machine de Nairne, qui fournit en même temps les deux électricités. Cette machine est tellement disposée, que l'on peut approcher à volonté deux boules de métal en relation chacune avec un des conducteurs. Lorsque les deux boules sont placées de 4 à 6 millimètres de distance, l'étincelle a la constitution suivante : du côté négatif, on aperçoit un point lumineux bien prononcé; du côté positif, il y a également un point lumineux, moins fort. Dans l'intervalle, on aperçoit une partie sombre violacée. Si l'on écarte peu à peu les deux conducteurs, la partie lumineuse négative se sépare en deux parties qui s'éloignent de plus en plus. L'étincelle se trouve alors composée de trois parties lumineuses et de deux parties sombres violacées. En continuant à écarter les boules, la partie lumineuse qui s'est détachée du conducteur négatif se rapproche de la lueur positive, et finit par se joindre à elle. Il ne reste plus qu'une très-faible lueur du côté négatif; mais il y en a une très-forte du côté positif. Les étincelles acquièrent alors une telle intensité, qu'il est difficile de les analyser.

Nous nous bornons seulement ici à parler d'une manière générale de la lumière électrique, dans le but de remonter à son origine. Si l'on veut de plus grands développements sur ce qui concerne l'aigrette électrique dans les différents milieux, sur la différence des effets lumineux produits à l'extrémité des conducteurs positif et négatif, etc., on peut consulter notre *Traité d'électricité*, t. V, p. 144 et suivantes.

De la composition de la lumière électrique.

On analyse la lumière électrique comme les autres lumières. Wollaston est le premier qui se soit occupé de cette analyse. Il trouva que le spectre résultant du passage de la lumière électrique dans le prisme, était formé de bandes colorées dont la composition n'était pas la même que celle du spectre de la lumière solaire. Fraunhofer, qui a étudié également la constitution du spectre de la lumière électrique, a trouvé de grandes différences avec le spectre solaire sous le rapport des raies et des bandes. On distingue dans le spectre électrique plusieurs lignes en partie très-claires, dont l'une, qui se trouve dans le vert, est d'une clarté pour ainsi dire brillante en comparaison du reste du spectre. L'orangé renferme une autre ligne moins lumineuse, dont la couleur paraît être la même que celle de la ligne claire du spectre de la flamme de la lampe. A peu de distance de l'extrémité du spectre, on remarque une ligne qui n'est pas très-claire, et dont la lumière est aussi fortement réfractée que celle de la lumière claire de la lampe dans le reste du spectre. On distingue encore facilement dans diverses parties quatre lignes bien claires. Fraunhofer attribue la présence de ces lignes claires à une portion de lumière qui n'a pas été décomposée par les prismes.

M. Weathstone a étudié la composition du spectre de la lumière électrique avec un télescope muni d'un micromètre (*Société pour l'encouragement des sciences*, Dublin, 1833). Il s'est servi d'un appareil électro-magnétique disposé de manière à donner une étincelle ne variant pas de position. Voici les principaux résultats obtenus.

Le spectre de l'étincelle tirée du mercure consiste en sept bandes définies, séparées les unes des autres par des intervalles obscurs ; elles sont composées de deux bandes orangées rapprochées l'une de l'autre, d'une bande vert brillant, de deux bandes vert bleuâtre très-rapprochées, d'une bande pourpre très-brillant, et enfin d'une bande violette.

En étudiant la composition des spectres provenant des étincelles tirées du zinc, du cadmium, du bismuth, du plomb en fusion, il a trouvé que le nombre, la position et la couleur varient dans chaque cas. Le spectre du zinc et du cadmium donne la bande rouge qu'on ne trouve pas dans les autres spectres. Les résultats ont été les mêmes en employant l'étincelle d'une pile voltaïque; ce qui est une nouvelle preuve de l'identité de la lumière électrique, soit qu'elle provienne des machines, soit des appareils voltaïques.

Pour compléter ces expériences, il a recherché de quelle manière variait la composition de la lumière électrique quand celle-ci était tirée du mercure dans le vide de la machine pneumatique, dans celui de Toriceili, dans le gaz acide carbonique, etc. Les résultats ont été les mêmes que ceux obtenus dans l'air ou dans le gaz oxygène. Il est prouvé par là que la lumière électrique ne doit pas être considérée comme le résultat de la combustion du métal.

Ce physicien en constatant les faits relatifs à la disposition des lignes brillantes précédemment décrites, résultant toujours de lignes qui différaient en nombre et en position suivant le métal d'où s'échappait l'étinceile, a trouvé que l'influence des métaux est tellement marquée, que lorsque l'on tire l'étincelle d'alliages, on aperçoit simultanément les lignes qui appartiennent à chacun des deux métaux. Il faut donc que l'intervention de la matière pondérable du conducteur, qui est volatilisée, soit pour quelque chose, ou du moins modifie la lumière électrique. Nous reviendrons sur cette question en traitant de la formation de la lumière électrique en général, afin de présenter dans le même cadre toutes les causes qui peuvent nous éclairer sur ce mode de formation.

Il résulte des recherches analogues de Fusinieri et de M. Weathstone, que l'étincelle qui traverse l'air en sortant d'un conducteur métallique ou autre, emporte toujours avec elle des particules matérielles, et que dès lors la lumière électrique n'est pas formée seulement de la réunion des deux fluides, mais provient encore de l'ignition et même de la combustion des matières pondérables transportées; effet analogue à celui que nous avons décrit en exposant les flammes résultant de la combustion du gaz. Davy avait été conduit à une conséquence semblable, avec cette condition cependant que dans l'espace où il n'existait pas de quantité de matière pondérable appréciable, il pouvait y avoir également émission de lumière sous la forme d'une faible lueur.

En résumé, nous voyons que réellement la lumière électrique peut naître de la réunion des deux électricités, mais qu'elle a besoin, pour se manifester à nos yeux avec plus ou moins d'éclat, de la présence de particules matérielles insaisissables, et qui modifient ces propriétés, comme nous l'attestent les raies différentes que nous retrouvons dans les spectres obtenus avec la lumière électrique provenant des étincelles tirées de diverses substances.

CHAPITRE IV.

De la phosphorescence.

Lorsque les molécules des corps sont soumises à des actions mécaniques, chimiques ou spontanées, ou exposées à l'influence de la lumière solaire, de la lumière électrique ou autre, ou à l'action de la chaleur, il en résulte la plupart du temps, outre un dégagement d'électricité, des effets lumineux ou de phosphorescence, que nous devons étudier avec d'autant plus de soin qu'ils sont de nature à jeter quelque jour sur les forces qui président à la constitution moléculaire des corps.

La phosphorescence étant produite dans tous les cas où l'équilibre des forces électriques est troublé, et la lumière électrique, ainsi que ses différentes teintes, ayant la plus grande analogie avec la lumière phosphorique, on est conduit *à priori* à établir une identité entre elles. Les causes, en effet, qui produisent la phosphorescence sont le frottement, les actions mécaniques en général, les actions chimiques, l'élévation de température, la lumière solaire et électrique, les actions spontanées et l'acte de la volonté chez les animaux, toutes causes qui dégagent de l'électricité. Or, nous avons déjà passé en revue les effets électriques produits en vertu de ces diverses causes; il ne reste plus, pour établir leur identité, qu'à faire le même examen à l'égard des effets de phosphorescence. Nous diviserons ce que nous avons à dire sur cette matière en autant d'articles qu'il y a de causes agissantes. Commençons par les effets lumineux dus aux actions mécaniques.

De la phosphorescence due aux effets de clivage, de frottement et à la percussion.

Lorsqu'on clive dans l'obscurité une lame de mica, on aperçoit une faible lueur, et les parties séparées manifestent chacune une électri-

cité contraire. Dans ce cas, le phénomène de phosphorescence a bien une origine électrique, mais on n'a pas toujours la possibilité de le prouver d'une manière aussi directe, attendu la difficulté qu'on éprouve à recueillir les électricités dégagées, électricités qui, en se recombinant immédiatement au contact, donnent lieu, suivant leur intensité, à une étincelle ou à une faible lueur; en voici un exemple. M. Dumas a observé que l'acide borique, fondu dans un creuset de platine, se fendille au moment du refroidissement, en répandant une vive lumière qui suit la direction des fentes. Qui ne voit dans ce phénomène un effet semblable à celui du dégagement d'électricité et de lumière dans le clivage du mica et d'autres substances minérales rangées parmi les corps mauvais conducteurs de l'électricité?

De même, quand on broie dans un mortier certaines variétés de feldspath, ou bien que l'on frappe à coups redoublés la variété adulaire qui se clive avec facilité, la lumière phosphorique produite dans le sens des fissures a évidemment une origine électrique. Il en est de même du chlorate de potasse broyé fortement dans un mortier. Cette substance pétille, devient lumineuse, et jette des étincelles.

Cette propriété d'émettre de la lumière n'est point partagée par les corps bons conducteurs de l'électricité dans lesquels la recomposition est immédiate; la raison en est toute simple. Les deux électricités devenues libres dès l'instant que les molécules ont perdu leur état d'équilibre, se recombinent plus ou moins rapidement, suivant le degré de conductibilité des corps; mais, pour qu'il en résulte une production de lumière, la tension de l'électricité doit avoir une intensité suffisante, ce qui exige que les corps soient mauvais conducteurs.

On sait que le choc du briquet sur le tranchant d'un caillou donne dans l'air des étincelles dues à la combustion de parcelles d'acier détachées et échauffées par l'action du frottement. Cet effet n'a pas lieu dans le vide; mais en expérimentant à l'obscurité, on aperçoit, d'après Hawskbée, une traînée lumineuse pâle et faible sur le tranchant du caillou frotté par l'acier. C'est là un phénomène de phosphorescence, et un effet du même genre que celui obtenu en frottant rapidement dans le vide deux morceaux de lisière l'un contre l'autre, effet qui disparut en faisant rentrer l'air. La faible lueur que donne le frottement dans ce dernier cas nous engage à examiner les effets de phosphorence produits dans le frottement mutuel de deux corps semblables, afin de mieux saisir les causes. Si l'on imprime un mouvement rapide de rotation dans le vide à une roue de

verre et qu'on appuie dessus avec force sur la circonférence un tube de verre, afin de produire un frottement assez fort, il se dégage une lumière si intense que l'on peut distinguer les objets qui se trouvent dans l'appareil; la couleur est celle d'un verre rougi au feu. Il en est de même en opérant dans l'air ou dans l'eau, mais avec moins d'intensité. Ces deux expériences montrent bien que la phosphorescence par frottement ne dépend pas de l'hétérogénéité des parties, mais bien de leur ébranlement. On peut donc faire abstraction de celle-ci dans les expériences.

En frottant rapidement dans le vide du verre entre deux écailles d'huître plates et bien sèches, il y a émission d'une lumière rouge foncé, comme celle d'un charbon allumé, couleur que l'on observe quelquefois dans les coquilles d'huître calcinées et vues dans l'obscurité, après quelques instants d'exposition à la lumière solaire.

Dans la dolomie, la propriété phosphorique par frottement est bien développée. Il suffit de la frotter avec un corps dur pour apercevoir une traînée lumineuse, propriété qui dépend plutôt de la texture que de la dureté, car il y a des dolomies très-dures qui en sont privées, tandis que d'autres plus tendres la possèdent à un haut degré. L'analyse chimique n'ayant jusqu'ici indiqué aucune différence dans la composition des diverses variétés de cette substance, on pourrait en conclure que la phosphorescence est une propriété moléculaire, conséquence d'accord avec ce principe, que plus les parties sont flexibles, plus les effets électriques de frottement sont considérables, plus aussi les phénomènes lumineux doivent être marqués; mais nous verrons dans un instant que la présence de principes accidentels dans une substance suffit, outre son état moléculaire, pour produire la phosphorescence.

Le spath-fluor, dont la surface est grenue, est également phosphorescent par frottement, tandis que celui qui est compacte l'est moins. La chaux phosphatée de l'Estramadure et d'autres substances sont également phosphorescentes par frottement.

Des expériences de M. Th. de Saussure font connaître quelques-unes des conditions qui interviennent dans la production de la phosphorescence par frottement. Le marbre blanc ou de couleur, c'est-à-dire, le calcaire compacte, calciné au rouge avec de l'acide phosphorique, n'est point phosphorescent par frottement, tandis que cette propriété est bien développée dans la craie qui a subi la même préparation; le frottement d'une plume suffit pour produire la phosphorescence sous l'apparence de traits lumineux. Cette pro-

priété se manifeste encore quand on enlève la mince couche vitreuse formée à la surface. Ce fait montre que, toutes choses égales d'ailleurs, la lueur phosphorique dégagée dans le frottement est d'autant plus marquée que les corps ont une texture plus lâche. Cette condition, nous le répétons, est également celle qui facilite le dégagement de l'électricité par frottement. C'est un des motifs qui nous ont fait donner à la lumière phosphorique une origine électrique.

Le phosphate qui se forme dans la calcination de la craie avec l'acide phosphorique cristallise facilement dans les petites cavités de la substance minérale, d'où résultent de nombreuses aspérités que l'on ne retrouve pas dans le marbre ou le calcaire compacte. C'est par un motif semblable que du gypse, traité comme la craie avec de l'acide phosphorique à un très-grand feu de fusion, et qui donne un sel blanc verdâtre formé de lames prismatiques, souvent striées, superposées les unes sur les autres et coupées carrément à leurs extrémités, se trouve dans les conditions voulues pour être phosphorescent, aussi l'est-il fortement par le simple frottement des barbes d'une plume.

L'origine électrique de la phosphorescence ressortira d'un grand nombre de faits que nous exposerons ci-après. Nous dirons ici qu'outre les effets de clivage, il existe des phénomènes de phosphorescence par frottement qui sont accompagnés d'effets électriques, de même que le clivage nous en a présenté plusieurs exemples. En effet, quand on frotte certains diamants à surface bien sèche sur une étoffe de laine préalablement chauffée pour qu'elle soit également bien sèche, ils paraissent entourés d'une lueur, en même temps qu'ils sont très-électriques. D'un autre côté, il existe des diamants qui ne sont pas lumineux, bien qu'ils soient électriques après avoir été frottés; mais le frottement de l'ongle fait jaillir de petites étincelles. Boyle a observé qu'il était possible d'exciter la lumière dans un diamant en le pressant fortement sur un morceau de faïence; d'autres le sont par un léger frottement sur la laine et la soie. Il faut donc, dans le premier cas, un frottement plus fort pour déterminer la phosphorescence.

La phosphorescence du diamant a provoqué les recherches de plusieurs physiciens, en raison des effets variés que cette substance présente. Dufay a reconnu des différences très-considérables dans les effets produits par le frottement, particulièrement sous le rapport de la couleur; de tous les diamants jaunes qu'il a soumis à l'expérience, un seul fut médiocrement lumineux; tous présentaient le phénomène au même degré; un gros diamant fleur de pêcher émettait une vive

lumière dès le premier frottement, et cependant il était moins électrique que les jaunes. Un vert produisit un effet contraire, c'est-à-dire que, bien qu'il fût électrique, il était difficilement lumineux par frottement. Un assez gros diamant bleu, rempli de glace, n'était point sensiblement phosphorescent. Comme il était électrique, il émettait une petite étincelle en approchant le doigt. Un diamant couleur améthyste se comporta de même. Dufay crut devoir en conclure que la faculté lumineuse n'était pas tellement dépendante de la vertu électrique, qu'il n'y eût des corps de même nature et de même espèce qui fussent, les uns plus lumineux et moins électriques, les autres, au contraire, plus électriques et moins lumineux.

Pour établir que la lumière phosphorique du diamant n'était pas le résultat de l'électricité dégagée dans le frottement lorsque la propriété électrique n'est pas développée, Dufay fit voir qu'après avoir rendu un diamant électrique par frottement, si on le mouillait, la vertu électrique se trouvait anéantie, tandis que la lumière phosphorique persistait au même degré. La conséquence que Dufay a tirée de ses expériences n'est exacte que sous un certain point de vue. Les expériences précédentes montrent simplement que la lumière phosphorique ne provient pas du dégagement de l'électricité dans le frottement de deux corps hétérogènes, action en vertu de laquelle chaque corps prend une électricité contraire : l'origine électrique de la phosphorescence est tout autre; il faut la chercher dans cette électricité intermoléculaire qui se manifeste dans les actions chimiques et dans tous les changements d'état des corps; aucune action moléculaire, en effet, n'ayant jamais lieu sans émission d'électricité. Deux molécules contiguës, en perdant leur position d'équilibre d'une manière quelconque, mettent en liberté une certaine quantité des deux électricités, dont la recomposition est plus ou moins immédiate, suivant leur tension et la conductibilité du corps, d'où résulte une lueur plus ou moins vive, plus ou moins colorée. C'est sous ce point de vue que l'on doit envisager l'origine électrique de la phosphorescence; au surplus, les faits qui seront exposés ultérieurement ne laisseront aucun doute sur sa véritable cause.

De la phosphorescence produite dans la cristallisation.

Il a été démontré précédemment que le clivage des substances cristallisées non conductrices de l'électricité était une cause de phosphorescence due à la recomposition des deux électricités mises en

liberté à l'instant où est détruite l'attraction moléculaire. On doit donc penser qu'à l'instant où elle exerce son action, c'est-à-dire dans la cristallisation, il doit y avoir des effets analogues. Passons en revue les effets de phosphorescence les plus remarquables observés jusqu'ici dans la cristallisation.

Le fluorure de sodium donne, par une évaporation lente, des cristaux cubiques réguliers qui se déposent au fond du vase. Si la cristallisation s'opère lentement dans l'obscurité, il y a scintillation, effet de phosphorescence.

M. H. Roze a observé également, pendant la formation des cristaux d'acide arsénieux, une émission de lumière qui paraît même assez forte. Ayant pris 2 ou 3 gr. d'acide arsénieux transparent et vitreux, avec 45 grammes d'acide chlorhydrique non fumant, étendu de 15 grammes d'eau, il fit bouillir le tout pendant un quart d'heure, et laissa refroidir le mélange aussi lentement que possible, en diminuant graduellement la flamme de la lampe à alcool. Il vit, dans l'obscurité, que la cristallisation était accompagnée d'une forte émission de lumière, chaque cristal donnant lieu à une étincelle. En agitant dans le vase, il se forma un grand nombre de cristaux, et la lumière phosphorique augmenta d'autant. En opérant avec 30 ou 40 grammes d'acide arsénieux, et agitant le vase à l'instant de la cristallisation, l'émission de lumière fut si forte que la chambre obscure fut illuminée. Ce phénomène dura plusieurs jours, mais en diminuant toujours d'intensité, et ne cessa que lorsqu'il ne se forma plus de cristaux d'acide arsénieux. On n'observa que peu ou point de lueur quand le refroidissement de l'acide chlorhydrique se faisait rapidement.

Les autres acides, tels que les acides acétique et nitrique ainsi que l'acide sulfurique, qui ne dissolvent qu'une très-petite quantité d'acide arsénieux, ne donnaient que de très-faibles apparences lumineuses.

En traitant une grande partie d'acide arsénieux transparent avec de l'eau régale ne renfermant pas un excès d'acide chlorhydrique et en quantité suffisante pour ne pas le dissoudre complétement et le transformer en acide arsénique, on observa encore une forte émission de lumière.

On sait que l'acide arsénieux est vitreux ou opaque et d'une densité spécifique différente. Cet acide, après avoir été fondu, est d'abord parfaitement transparent; mais quand il a été conservé pendant quelque temps, il devient laiteux et opaque sans avoir rien perdu de

son poids. M. Roze a obtenu la phosphorescence seulement avec les cristaux vitreux, et n'a observé qu'une faible lueur avec l'acide opaque, et encore en agitant le vase; on reproduit le phénomène à plusieurs reprises en faisant chauffer la dissolution de l'acide transparent jusqu'à l'ébullition, puis la laissant refroidir lentement : seulement, la lumière est plus faible que dans la première expérience. Il paraît que la lumière émise dans ce dernier cas est due à ce que l'acide chlorhydrique contenait en solution des portions d'acide transparent qui, passant de l'état vitreux à l'état opaque, ont donné naissance à une faible phosphorescence, conformément à l'opinion de M. H. Roze, qui pense que le phénomène est produit à l'instant où l'acide arsénieux passe à l'état de la formation isomérique qui n'est pas vitreuse.

Le sulfate de potasse produit un effet semblable; mais il faut pour cela qu'il renferme une certaine quantité de sulfate de soude, laquelle peut varier en général dans la proportion de 1 atome pour 1 atome et demi, 2 ou 3 atomes de sulfate de potasse.

Si l'on dissout dans l'eau bouillante, ce sel préalablement fondu, il y a toujours production de lumière. Il en est encore de même quand l'acide sulfurique est remplacé par les acides isomorphes, l'acide chromique ou l'acide sélénique.

Examinons quelques mélanges des deux sulfates alcalins, qui montrent le phénomène d'une manière bien marquée. Des mélanges fondus de 11 p. de sulfate de potasse et 9 p. de sulfate de soude, 2 p. de sulfate de potasse et 1 p. de chl. de sodium, 8 p. de sulfate de potasse et 3 p. de carbonate de soude, ou des poids atomiques égaux de sulfate de soude et de chromate ou de séléniate de potasse, qui sont beaucoup plus fusibles que le sulfate de potasse seul, quand on les dissout dans l'eau bouillante jusqu'à saturation, donnent toujours de la lumière en cristallisant. Cette cristallisation donne un sel qui a la même forme que le sulfate de potasse, et dont le sulfate de soude est un élément essentiel, quoiqu'il n'y entre pas toujours pour la même quantité; dans ce cas, il se forme probablement des sels doubles isomorphes qui cristallisent ensemble, tous deux avec production de lumière. La masse fondue conservée dans des flacons fermés retient la propriété d'émettre de la lumière en cristallisant, et elle la perd exposée à l'air, probablement en absorbant de l'eau. Le sel nouvellement préparé est lumineux dans l'obscurité en le frottant avec un corps dur. Dissous une seconde fois, il ne produit plus de lumière en le faisant cristalliser de nouveau ; mais alors le sulfate de potasse cristallise seul; le sulfate de soude reste en dissolution. Il pa-

rait qu'en général, pour former un sel qui cristallise avec émission de lumière, il faut que la dissolution renferme plus de sulfate de soude qu'il n'en faut pour la formation des cristaux.

M. H. Roze, qui a fait une étude approfondie de la phosphorescence produite dans la cristallisation, attribue ce phénomène à un changement isomère que le sel éprouve au moment où il cristallise. Le sulfate de soude, dans ce cas, passe à une modification isomère, dans laquelle il est isomorphe avec le sulfate de potasse, avec lequel le sulfate sodique anhydre ne l'est point ordinairement.

M. Roze a cherché à vérifier ce principe sur les effets de phosphorescence que présentent certains corps en passant, à une température élevée, de l'état soluble à l'état insoluble. Les expériences ont été faites sur l'oxyde de chrôme, qui présente ce phénomène au plus haut degré. Il plongea la boule d'un thermomètre à air dans de l'oxyde de chrôme non calciné et renfermé dans un creuset de platine. En chauffant graduellement jusqu'à ce que la lumière se produisit, il n'y eut point de dégagement d'air violent dans le tube du thermomètre qui plongeait par un autre bout dans l'eau, comme dans le cas où le dégagement de lumière aurait été accompagné d'un dégagement de chaleur correspondante. Il obtint un effet semblable lors de la production de lumière pendant la cristallisation du sel. Cette expérience prouve donc que réellement le phénomène de lumière est un effet de phosphorescence.

Le chlorure de calcium produit des effets non moins remarquables lorsque ce sel est complétement fondu dans son eau de cristallisation. Si l'on transporte le creuset dans une chambre obscure, et qu'on le laisse refroidir graduellement, non-seulement la lumière phosphorescente persiste pendant plusieurs minutes, mais on voit distinctement de larges étincelles et des coruscations accompagnées d'un craquement dû probablement à la contraction soudaine de la masse ou à la cristallisation.

On produit également le phénomène en plongeant une baguette de verre dans la solution, dont une grande partie se concrète autour de la baguette, et qu'on peut ensuite enlever. Quand le creuset est refroidi, et que la phosphorescence est disparue, on obtient de très-belles étincelles en frappant le chlorure avec un instrument aigu, en le rayant simplement ou en le frappant d'un marteau. On obtient encore des étincelles de phosphorescence en broyant la substance dans un mortier.

La couleur et l'intensité des étincelles paraissent varier avec le

degré de la force mécanique employée. Si l'on raye doucement, on a de fortes étincelles ; si l'on raye fort, elles sont jaunes ; un petit coup frappé avec le marteau donne une étincelle de couleur orangée.

On observe plus facilement ces effets avec le chlorure nouvellement fondu que lorsqu'il a absorbé de l'eau pendant son exposition à l'air. Dans ce cas, la propriété lumineuse diminue à mesure que la quantité d'eau augmente.

Peut-être n'est-ce pas la seule cause qui s'oppose quelquefois à la manifestation du phénomène, car il y a des chlorures qui ne possèdent pas cette faculté, quoique privés d'eau. Il pourrait se faire qu'il fût nécessaire que le sel contînt une autre substance.

De la phosphorescence par élévation de température.

La phosphorescence par la chaleur prend naturellement place après celle due aux actions mécaniques et à la cristallisation ; car la chaleur produit un véritable clivage à mesure qu'elle se propage dans les corps, si ce n'est qu'il est plus général. Ce genre de phosphorescence est donc analogue ; comme lui, il est dû à la recomposition des deux électricités mises en liberté quand les molécules s'écartent ou se séparent.

Tous les corps phosphorescents par la chaleur manifestent leur propriété quand on les projette en poudre ou en petits fragments sur un support plus ou moins chaud. La chaux fluatée occupe le premier rang, en raison de la vivacité de sa lumière et de la variété de ses teintes. Elle devient lumineuse, soit qu'on la projette sur un bain de mercure bouillant, dans un mélange d'eau et d'acide sulfurique, dans l'eau bouillante, soit sur une pelle de fer ou de cuivre obscurément chaude. Il existe des variétés de cette substance qui sont pour ainsi dire phosphorescentes à tous les degrés ; il en est une, la chlorophane, qui est lumineuse à 20 ou 25°.

Pour observer la phosphorescence dans toutes ses phases, particulièrement dans les corps qui n'en sont doués qu'à un très-faible degré, il faut opérer dans une obscurité profonde, et de manière à pouvoir déterminer à chaque instant la température à laquelle on opère. On emploie à cet effet un canon de pistolet fermé à la culasse par une vis qui permet d'en nettoyer l'intérieur à volonté. Le canon, *c*, fig. 23, pl. VII, est placé verticalement dans un fourneau. A sa bouche se trouve une forte planche en bois de chêne cerclée en fer, et percée d'une ouverture à travers laquelle passe la bouche du canon. On projette

les substances en poudre ou en fragments dans le canon, et on ferme l'ouverture avec un verre, afin de préserver l'œil du rayonnement calorifique. L'observateur doit rester longtemps dans l'obscurité avant d'expérimenter, afin de rendre sa rétine plus impressionnable aux radiations lumineuses les plus faibles.

Un grand nombre de substances soumises à l'expérience démontrent que presque tous les corps sont phosphorescents par la chaleur, mais non au même degré; ainsi le sulfate de potasse, les chlorures de sodium et de mercure, l'acide arsénieux vitreux ne luisent qu'à 200°, des variétés du spath fluor à 25°,50°, et au delà. Pour déterminer avec une certaine précision le degré et les phases de la phosphorescence, il faut chauffer graduellement la culasse du canon jusqu'à ce qu'elle commence à paraître, s'arrêter un instant, et mesurer la température avec les appareils thermo-électriques précédemment décrits : mais comme on a fréquemment besoin d'observer à des températures inférieures à l'ébullition du mercure, on peut se borner à plonger le canon dans un bain de ce métal chauffé sur un fourneau. La température du mercure sera celle de la culasse. On peut encore projeter les substances sur la surface du bain de mercure dans lequel plonge un thermomètre.

A l'exception de la chaux fluatée, de la chaux phosphatée terreuse et de quelques autres substances qui n'émettent en général complétement de la lumière qu'un peu au delà de 350°, presque tous les corps organisés ou non organisés non conducteurs de l'électricité deviennent phosphorescents quand ils sont projetés sur l'alliage fusible de Darcet. L'intensité de la lumière émise paraît être en général en raison directe de la température à laquelle elle est produite, et sa durée en raison inverse. Ainsi, quand la phosphorescence se manifeste à une température très-élevée, elle est de courte durée, et ne se produit plus quand on chauffe au delà.

Pour analyser le phénomène, on met de la chaux fluatée violette en petits fragments dans le canon de pistolet; cette substance commence à émettre une lueur bleuâtre. En continuant à la chauffer, la couleur passe successivement au violet clair, foncé, au bleu foncé, bleu violacé, bleu d'outre-mer, puis la phosphorescence s'éteint. A cet instant les fragments sont décolorés, et ont perdu leur propriété phosphorique. La chaux fluatée verte, dans une expérience, a commencé par émettre une couleur vert-olive, la plus éclatante de toutes, avant de prendre les nuances bleues. La chaux fluatée jaune a montré une teinte violacée très-claire qui a disparu peu à peu.

Ainsi, les effets lumineux sont modifiés d'une variété à une autre.

Quant à la chaux fluatée blanche en général, elle n'est pas phosphorescente ; ou quand elle l'est, c'est toujours à un très-faible degré. La chaux fluatée violette, bleue ou jaune, etc., qui a été décolorée par l'action de la chaleur, se trouve dans le même cas. Nous verrons, en traitant de l'influence de la lumière électrique sur des fluors décolorés, qu'on leur rend la faculté phosphorique en les exposant à son action.

La chaux phosphatée terreuse de l'Estramadure en petits fragments émet une couleur jaune clair qui disparaît assez promptement. En général, cette substance est phosphorescente par première impulsion sur le support chauffé au rouge naissant, et perd cette faculté immédiatement après, tandis qu'à une température inférieure, elle perd peu à peu la faculté phosphorique.

La strontiane carbonatée donne une couleur jaune orangé foncé qui disparaît promptement.

La baryte carbonatée ne devient pas phosphorescente sensiblement quand on élève successivement la température jusqu'au rouge ; mais elle le devient par première projection sur le support chauffé au rouge naissant ; alors elle donne une couleur jaunâtre.

La dolomie pulvérisée, projetée sur une pelle de fer chauffée au-dessous du rouge naissant, produit une très-belle lumière, qui est semblable, quant à l'intensité et à la durée, à celle que, dans les mêmes circonstances, dégage la craie ; seulement la lumière de la dolomie est d'un rouge orangé très-vif, tandis que celle de la craie est d'un blanc bleuâtre. La dolomie qui produit une fois cet effet n'offre à l'épreuve d'une pelle chauffée au rouge que quelques traces d'une lumière blanche à peine sensible, et encore après avoir été exposée pendant plusieurs heures au soleil.

On explique facilement les effets produits par une élévation lente et une élévation rapide de température. Dans le premier cas, le dégagement d'électricité ainsi que l'émission de lumière qui l'accompagne, doivent être très-faibles ; mais quand l'élévation de température est rapide, le dégagement de l'électricité l'est également, et la tension de l'électricité dégagée peut alors avoir la force nécessaire pour donner de la lumière.

Passons en revue d'autres substances soumises au même mode d'investigation. La craie, et en général les diverses variétés de carbonate de chaux d'une constitution lâche, sont lumineuses par première projection au rouge sombre. Les calcaires colorés, d'une texture un peu

lâche, sont plus phosphorescents que ceux à texture serrée; et généralement, les corps vitreux perdent plus difficilement leurs propriétés lumineuses par l'action de la chaleur que ceux qui ne le sont pas. Tous ces faits prouvent l'influence de la constitution moléculaire sur la production des phénomènes de phosphorescence.

Il est bien démontré que l'élévation de température exalte les propriétés phosphoriques des corps; on peut se demander comment agit à leur égard l'abaissement de température. M. Edmond Becquerel a fait quelques expériences à cet égard, qui répondent à cette question. Ayant pris des coquilles phosphorescentes par insolation, dont nous ferons connaître le mode de préparation plus loin, et s'étant placé dans l'obscurité, une partie fut mise dans une capsule plongeant dans un mélange réfrigérant à — 20°, et l'autre dans une capsule à la température ordinaire. Les coquilles dont on avait abaissé la température perdirent plus rapidement leur phosphorescence. L'expérience fut répétée avec cette différence que les coquilles ne restèrent que peu d'instants à la lumière solaire. Un quart d'heure après, elles émettaient à peu près la même teinte. Les coquilles étant devenues obscures, on retira du mélange réfrigérant celles qui s'y trouvaient; elles devinrent alors phosphorescentes à la température de l'air ambiant, mais elles s'éteignirent bientôt après; en les chauffant, leur lumière reparut. On voit par là un nouvel exemple de l'influence de la température sur la production de la phosphorescence.

Les substances métalliques et leurs composés, à très-peu d'exceptions près, ne sont pas phosphorescents par frottement; il en est de même quand elles sont soumises à l'action de la chaleur. Les limailles métalliques produisent, il est vrai, une lueur instantanée qui disparaît quand on les projette sur une pelle de métal chauffée au rouge; mais c'est un phénomène complexe dont nous parlerons dans un instant.

On a vu précédemment que quelques corps, après avoir été chauffés à un certain degré de chaleur, perdaient leur faculté lumineuse. Cette assertion est vraie. Mais tous ne la perdent pas d'une manière absolue, entre autres les terres qui conservent leur propriété lumineuse, quelle que soit la chaleur à laquelle on les expose; elles brillent ordinairement très-bien à 250°. La craie, les carbonates de baryte et de strontiane, deviennent lumineux à une chaleur modérée; en continuant à élever leur température, leur lumière s'éteint peu à peu, puis se ravive quand ils ont été exposés pendant une demi-heure à une chaleur blanche capable de les décomposer, et conti-

nuent à briller indéfiniment tant qu'on maintient la température. Il est probable que la phosphorescence disparaît à l'instant où les carbonates se décomposent, et reparaît lorsque leurs bases sont entièrement libres. Dans ce cas, les effets électriques produits à l'instant de la décomposition chimique ne sont peut-être pas assez intenses pour produire de la lumière.

Citons un autre ordre de faits. Les sels alcalins ou terreux hydratés, qui conservent leur acide à une forte chaleur, perdent cependant plus ou moins leur phosphorescence. Cet effet provient uniquement de la déshydratation, car si on les expose quelque temps à l'air pour qu'ils reprennent leur eau de cristallisation, ils recouvrent la propriété lumineuse qu'ils avaient perdue. Il est d'autres substances, telles que les silicates, le quartz, le verre, l'adulaire, qui ne recouvrent plus leur propriété lumineuse une fois qu'elles l'ont perdue : cela tient probablement au nouvel arrangement moléculaire que la chaleur leur a fait prendre.

Il faut en excepter cependant plusieurs substances, entre autres le spath-fluor, qui recouvre cette propriété quand on l'expose à la lumière solaire ou électrique, laquelle modifie probablement l'état moléculaire, comme nous aurons occasion de le montrer en exposant les effets de phosphorescence produits sous l'influence de la lumière électrique.

De la phosphorescence par la chaleur des substances combustibles.

Beaucoup de substances combustibles sont phosphorescentes par la chaleur. Nous citerons entre autres la houille, la tourbe, la plombagine, le jayet, le soufre, etc.; dans les substances végétales, les fèves, le maïs en farine, la fécule de pomme de terre, la farine de seigle, le papier, etc.; parmi les substances animales, les os, les dents, les coquilles, les coraux, etc. La température cependant ne doit pas être assez élevée pour carboniser ces substances. Parmi les liquides, on cite les huiles volatiles qui deviennent phosphorescentes à la température de l'ébullition, tandis que les huiles empyreumatiques sont privées de cette faculté. En général, tous les liquides dont on peut élever la température jusqu'à l'ébullition sans les décomposer, comme l'eau, le vin, les acides, ne manifestent aucune phosphorescence.

Voici quelques indications qui ne seront pas sans intérêt : l'essence de térébenthine cesse d'être lumineuse à 75°; l'huile de pétrole à 90°;

— de lin à 106°; — de noix et de pavot à 132°; — de menthe à 194°; — d'olive à 225°; — d'amande douce à 250°. La distillation de ces huiles ne donne lieu à aucun effet de phosphorescence.

Des diverses espèces de lumière phosphorique.

On distingue deux lumières phosphoriques, l'une par émanation, l'autre par scintillation: la première est cette lumière légère, fugitive, plus ou moins colorée; l'autre est une série d'étincelles qui s'échappent plus ou moins rapidement des corps. Les terres et les composés terreux alcalins offrent un exemple d'émission lumineuse; les métaux réduits en limaille fine, leurs oxydes et les sels métalliques, et en général toutes les substances combustibles, un exemple du second genre.

Nous n'avons parlé jusqu'ici de la phosphorescence que d'une manière générale, en faisant connaître les diverses teintes par lesquelles passait sa lumière depuis l'instant de son apparition jusqu'au moment où elle s'éteignait. Il s'agit de l'étudier sous le rapport des couleurs propres que les substances émettent suivant leur nature, non pas en suivant les développements successifs des teintes dans chaque substance, mais la couleur qui est la plus persistante.

Certains marbres et le succin donnent une lueur d'un jaune doré; le spath-fluor et la chaux arséniatée, une lumière verdâtre; diverses variétés de spath-fluor, une couleur bleue violette; le grenat oriental, le sucre de lait, une lumière rouge; la dolomie, l'aragonite et quelques diamants, une lumière d'un blanc éclatant; l'harmotome, une couleur jaune verdâtre; la chlorophane, une couleur verte.

Dans les carbonates calcaires, les couleurs jaune et bleue se montrent; le vert rarement. Les acides, dans leurs combinaisons avec les bases, paraissent exercer une influence sur la couleur. Dans les combinaisons de l'acide fluorique, les couleurs dominantes sont le jaune, le bleu et le vert, et le plus souvent ces deux couleurs; dans celles de l'acide phosphorique, le vert et le jaune; dans celles d'acide sulfurique, le jaune et le bleu; dans celles d'acide arsénique, le verdâtre et le bleu; dans les substances siliceuses, les couleurs dominantes sont le bleu, le jaune, le vert; dans les substances argileuses, le jaune et le blanc.

Qui ne reconnaît dans les couleurs variées que prend la lumière phosphorique, celles qui sont propres à l'étincelle électrique quand elle éclate entre des corps plus ou moins bons conducteurs? Or, comme nous n'avons aucun moyen de reconnaître les rapports de conduc-

tibilité électrique des molécules du même corps à différents degrés de température, nous ne pouvons déterminer la couleur de la lumière électrique émise par les particules à l'instant où elles se dilatent, car cette lumière dépend de la tension des électricités dégagées, laquelle tension dépend elle-même du pouvoir conducteur des parties. Une preuve que le phénomène est moléculaire, c'est que la nature du milieu ne modifie en rien la phosphorescence par la chaleur. Il n'en est pas de même à l'égard des substances organiques qui jettent plus d'éclat dans l'oxygène que dans les autres gaz. Dans ce cas, deux causes concourent à la production de la lumière : la phosphorescence due au mouvement des molécules, et celle provenant d'une combustion lente. Placidus Henrich, qui s'est beaucoup occupé de ce sujet, a établi ainsi la classification des substances relativement à leurs propriétés phosphoriques.

La chaux, qui est très-lumineuse par la chaleur, conserve cette propriété dans toutes ses combinaisons; les sulfates calcaires sont moins phosphorescents que les carbonates; les substances siliceuses ne sont pas à beaucoup près aussi phosphorescentes que celles à base de chaux. La chaleur du cuivre chauffé au rouge rend ces dernières luisantes quand elles sont réduites en poudre; quand les morceaux sont d'une certaine grosseur, il faut une température plus élevée.

Les composés minéraux les plus phosphorescents sont la topaze de Saxe, l'améthyste, le jaspe, l'émeraude, le zircone. Les verres colorés par les oxydes métalliques luisent mieux que les verres blancs. Quant aux substances purement argileuses, elles occupent le dernier rang. Les nombreux exemples de phosphorescence par la chaleur que nous avons cités suffisent pour donner une idée assez nette du phénomène.

Des différentes causes qui influent sur les phénomènes de phosphorescence par la chaleur.

La combustion peut produire de la lumière, lors même qu'elle est très-faible, comme le phosphore, qui brûle à la température ordinaire, en est un exemple. Comment peut-on dès lors reconnaître, dans les cas de phosphorescence où l'on a lieu de supposer qu'il y a combustion, que la lumière émise provienne de la phosphorescence proprement dite ou de la combustion? Il est des cas où la distinction est bien difficile à établir.

Quand le phosphore brûle, la lumière a toutes les apparences de

la phosphorescence, aussi la dénomination de celle-ci dérive de la lumière du phosphore qui brûle. Dans ce cas l'origine de la lumière n'est pas douteuse.

La combustion du soufre, suivant la température où elle s'opère, donne lieu à plusieurs espèces de lumières bien différentes : la lumière est blanche quand il brûle à une haute température; la lumière bleue, connue de tout le monde, est celle qu'il répand quand il brûle à une température rouge; puis cette autre lumière faible et fugitive comme la lumière phosphorique, qui est produite en projetant dans l'obscurité du soufre en poudre sur une pelle de fer chauffée au-dessous de la température rouge, et à une température suffisante cependant pour le volatiliser. Dans les deux premiers cas, l'origine chimique n'est pas douteuse; il n'en est pas de même dans le dernier.

Cette faible lueur provient-elle d'une combustion lente ou bien d'un mouvement moléculaire ? On l'ignore. En plaçant un corps froid au-dessus du support chaud, on recueille du soufre sublimé. On en a conclu que la volatilisation était pour quelque chose dans la production du phénomène; mais comme on n'a pas cherché à reconnaître dans la même circonstance la présence de l'acide sulfureux, on reste dans le doute.

Les combustibles proprement dits, en général, placés sur une plaque de cuivre chauffée au point de ne pas les faire entrer en ignition, commencent toujours par brûler avant d'émettre une lueur si faible, qu'elle a toutes les apparences d'une lumière phosphorique. Quand on fait l'expérience dans l'oxygène, on peut admettre que le phénomène soit dû à une faible combustion ; mais il n'en est plus de même lorsqu'il se produit dans le vide, ou dans un milieu rempli de gaz acide carbonique, ou autre principe non comburant. L'antimoine, le graphite, l'ambre, le maïs, luisent et répandent une faible lueur dans ces différents cas.

Autre exemple du même genre. L'huile d'olive placée dans un tube et chauffée suffisamment pour brûler sans mèche, s'éteint aussitôt qu'elle est plongée dans l'acide carbonique, mais elle continue à répandre une faible lueur. On voit donc que la lumière phosphorique qui se développe quand on expose certains combustibles à l'action de la chaleur, provient tantôt de la combustion, tantôt d'un mouvement moléculaire.

Passons à un autre ordre de phénomènes. On a vu précédemment que les substances calcaires étaient en général les plus phosphorescentes. D'où peut donc provenir cette propriété ? M. Th. de Saussure

a fait quelques recherches dans le but de résoudre cette question. Il a expérimenté à cet effet avec du carbonate de chaux très-pur, provenant de rhomboèdres de spath d'Islande limpide, et qui ne donnait point de lueur sensible dans l'obscurité quand on le projetait sur une plaque de métal chauffée au rouge.

Indiquons les observations préliminaires qui l'ont guidé dans ses recherches. Toutes les pierres calcaires douées de la phosphorescence par la chaleur, traitées convenablement par l'eau distillée, donnent des signes non équivoques de la présence des acides sulfurique et chlorhydrique. Ce dernier acide, d'après un grand nombre d'essais, parut à M. de Saussure une des causes de la phosphorescence. Il reconnut encore que la combinaison de la chaux avec l'acide chlorhydrique n'émet jamais de lumière sur un fer rouge quand les deux substances sont parfaitement pures. Si l'on fait dissoudre jusqu'à saturation une certaine quantité de spath d'Islande dans de l'acide chlorhydrique, cette dissolution filtrée laisse, par l'évaporation dans une capsule de verre, un résidu blanc et friable, non phosphorescent. Il en est de même du résidu de la dissolution chlorhydrique faite avec le carbonate de chaux pur, et quand les résidus ont été poussés au rouge jusqu'à la vitrification. Un carbonate de chaux projeté dans le premier résidu, lorsqu'il est en fusion, produit une vive effervescence, mais sans aucune phosphorescence. Mais si le carbonate est chargé de protoxyde de fer, on aperçoit à la surface du mélange une très-belle phosphorescence. En retirant la substance du creuset avant que la combinaison ne soit achevée, et la plaçant, après le refroidissement, sur un fer rouge, elle est phosphorescente. Le résidu de l'évaporation de la dissolution chlorhydrique faite avec un excès de carbonate chargé de protoxyde de fer, donne toujours une très-belle phosphorescence à l'aide de la chaleur.

Enfin, si, dans du chlorure de calcium en fusion, l'on projette de la limaille de fer, le chlore, en s'unissant au métal, produit une lumière phosphorique d'un blanc bleuâtre, qui s'élève à plusieurs centimètres au-dessus du mélange. Cette lumière rend translucide le creuset qui, par là, se trouve lui-même dans une atmosphère bleue. Il se dégage du mélange quelques bulles, qui, en éclatant à l'air, laissent échapper une lumière rouge éblouissante.

Le peroxyde de manganèse dégage du chlorure de calcium en fusion une fumée blanche qui colore en rouge la flamme des charbons. La lumière produite est toujours en raison inverse de l'oxygénation du métal.

M. Th. de Saussure, en étudiant aussi la phosphorescence du spath-fluor, a reconnu, comme du reste on le savait depuis longtemps, que les cristaux parfaitement blancs et transparents ne jouissaient pas de cette propriété. S'appuyant sur l'observation précédente, il eut l'idée qu'il pourrait bien se faire que les spaths-fluors colorés dussent leur propriété phosphorique à la présence du fer, et qu'ils fussent d'autant plus phosphoriques qu'ils contiendraient plus de fer à l'état de protoxyde. Le spath, en effet, en se décolorant par l'action de la chaleur, perd aussi sa propriété phosphorescente, ce qui semble indiquer une oxydation plus complète du fer.

Que se passe-t-il quand on chauffe un spath-fluor coloré ? Il se produit d'abord une décrépitation extraordinaire qui ne paraît pas dépendre uniquement de l'eau de cristallisation et de l'inégale dilatation des surfaces ; car, à chaleur égale, le pétillement est d'autant plus grand que la phosphorescence est plus vive, et cesse avec elle ; si l'on soumet, dans un creuset bien fermé, du spath-fluor vert demi-transparent, ce composé perd à la calcination un tiers de son poids. Il résulte de là que puisque, par la calcination, le spath-fluor perd sa propriété phosphorescente et une partie de son poids, il faut qu'il se fasse un changement dans sa composition, lequel est accompagné d'une émission de lumière. Mais quelle est la nature du changement? Si l'on fait bouillir pendant plusieurs heures de l'eau distillée sur du spath-fluor non calciné, la liqueur filtrée et concentrée n'accuse, avec les réactifs, ni la présence du fer, ni celle de l'acide chlorhydrique ; le résidu de l'évaporation est du spath-fluor non décomposé.

La même opération fut répétée sur une pareille quantité de spath-fluor calciné jusqu'à fusion dans un creuset de platine. La dissolution concentrée précipita en bleu par le deutocyanure de potassium, et en blanc par le nitrate d'argent. Le résidu évaporé à siccité était déliquescent, brunissait à l'air, et paraissait en grande partie composé d'un chlorure alcalin très-chargé de fer. Schèele avait déjà signalé l'existence du sel marin dans cette substance.

Les expériences de M. Th. de Saussure montrent d'une manière péremptoire l'influence sur la phosphorescence, de la présence de métaux passant à un état supérieur d'oxydation; mais est-ce la seule cause? C'est donc un motif pour examiner jusqu'à quel point la coloration des corps intervient dans la production de la phosphorescence.

La coloration peut être attribuée à trois causes : à la nature même des corps, à l'arrangement de leurs molécules, au mélange ou

à la combinaison d'une autre substance, qui est presque toujours un oxyde métallique. Nous verrons, en traitant de la phosphorescence produite par la lumière électrique, que le second mode de coloration jouit de la même propriété que le dernier ; en attendant, citons quelques faits relatifs à l'influence de la coloration sur la phosphorescence.

On a déjà dit qu'en général les substances limpides étaient moins phosphorescentes que celles qui étaient colorées. Le spath-fluor et la chaux carbonatée en fournissent de nombreux exemples. Les cristaux incolores de chaux phosphatée ne deviennent lumineux sur un support qu'au bout de 40 à 50″, tandis que les cristaux verdâtres des mêmes substances deviennent lumineux à la première impression de chaleur. On peut conclure de là, que la coloration est, sinon toujours, du moins la plupart du temps, indispensable à la production de la phosphorescence.

M. Dessaignes a mis en évidence l'influence de la coloration dans un morceau d'albâtre calcaire de $0^{m},002$ d'épaisseur, et formé de trois espèces de bandes, les unes blanches, les autres jaunes et transparentes, les troisièmes chargées d'oxyde de fer. Ce morceau ayant été exposé au soleil, puis porté dans l'obscurité, les bandes jaunes devinrent très-lumineuses, les blanches le furent un peu moins, et celles qui étaient chargées de fer restèrent obscures.

On conçoit pourquoi la présence d'une trop grande quantité d'oxyde métallique tend à diminuer la phosphorescence : dans ce cas, le pouvoir conducteur pour l'électricité augmentant, la substance doit perdre une partie de la propriété lumineuse et rentrer dans la catégorie des corps plus ou moins conducteurs.

Outre la coloration, il faut encore avoir égard, dans la production de la phosphorescence par la chaleur, à trois autres circonstances :

1° à l'influence de l'eau de cristallisation ;
2° à l'influence de l'état des surfaces ;
3° à l'influence des masses.

Influence de l'eau de cristallisation.

L'eau de cristallisation ou interposée est souvent une cause déterminante de la phosphorescence, car certains sels qui en sont privés cessent de luire sur un support chaud. Citons quelques exemples :

Les solutions salines, saturées ou non, n'étant jamais lumineuses par la chaleur, il s'ensuit que l'état liquide est contraire en général à la phosphorescence.

Si l'on prépare deux fluorures de calcium renfermant des quantités différentes d'eau, après avoir été lavés et séchés, ces deux sels ne sont pas phosphorescents au même degré ; celui qui renferme le plus d'eau est le plus phosphorescent. D'un autre côté, on a remarqué qu'un grand nombre d'hydrates sont d'autant moins phosphorescents que l'on parvient à les priver d'une plus grande quantité d'eau. On en a un exemple dans la baryte, la strontiane, la chaux, qui, privées le plus possible d'eau, ne donnent que quelques lueurs sur le support chaud, tandis qu'elles deviennent très-lumineuses dès qu'elles sont humectées d'une très-petite quantité d'eau ; en augmentant l'eau au delà d'une certaine limite, on diminue la faculté lumineuse. Il peut se faire que cette faculté ne soit inhérente aux hydrates que parce qu'ils perdent peu à peu leur eau de cristallisation, d'où résultent alors des effets analogues à ceux qui ont lieu dans la phosphorescence spontanée provenant d'une décomposition lente.

Influence de l'état des surfaces.

M. Dessaignes a remarqué qu'un cristal de spath-fluor limpide qui n'est pas phosphorescent, le devient quand on fait naître des fractures et qu'on le pose ensuite sur un support chauffé au-dessous de la température rouge; de même, si l'on use sur un grès deux faces correspondantes d'un cube de spath-fluor non phosphorescent et qu'on place ce cube sur un support chaud, par ses faces usées, il devient sensiblement phosphorescent au bout de 40 minutes, tandis que l'effet est nul par l'application sur le support des faces non usées.

Quand une lame de verre d'un demi-millimètre d'épaisseur est mise sur une pelle de fer à l'instant où celle-ci cesse de rougir, on aperçoit un commencement de phosphorescence sur les bords fracturés, puis peu à peu elle augmente et finit par se répandre dans toute la masse.

Le cristal de roche, l'adulaire limpide, la chaux phosphatée et l'émeraude, qui ne deviennent phosphorescents à aucune température, tant que leurs faces jouissent de leur poli naturel, deviennent lumineux sur un support incandescent, dès que leur surface a été dépolie.

Le sens des lames du clivage influe sur la production de la phosphorescence. En effet, si l'on place un cristal de chaux carbonatée prismatique, par l'une de ses faces, sur un support chaud, au bout de 30 minutes il devient lumineux dans toute sa masse. Mais si, après refroidissement, on fait naître une section parallèle au plan

des lames, et qu'on l'applique par cette section sur le support, il n'y a aucune émission de lumière.

L'arragonite offre des effets plus remarquables encore. Un prisme hexagonal de 48 millimètres de hauteur et de 8 millimètres d'épaisseur ayant été placé par une de ses faces sur la pelle obscurément chaude, prit une belle couleur jaune dans toute la masse au bout de 40 ou 50 minutes. En posant le cristal sur une de ses bases, M. Dessaignes n'obtint aucune émission de lumière, quel que fût le temps de la durée de l'expérience. Dans un prisme très-court, le résultat fut le même. La cristallisation influe donc sur la phosphorescence, puisque, lorsque la chaleur chemine dans un sens plus ou moins perpendiculaire aux lames cristallines, la phosphorescence devient plus ou moins forte.

Des observations analogues ont été faites sur le diamant. Trois petits diamants octaèdres ayant été placés successivement sur un support chaud, n'ont présenté aucune trace de phosphorescence, tandis que les mêmes diamants taillés sont devenus lumineux pendant 5 ou 6 minutes, à la première impression de chaleur. En étudiant ces effets, M. Dessaignes a reconnu effectivement que, dans cette circonstance, les diamants ne devaient leur phosphorescence qu'aux aspérités que la taille du lapidaire avait fait naître sur des lames clivées naturellement. Les mêmes observations ont été faites sur plus de cinquante diamants.

Cette analogie entre le pouvoir des pointes pour soutirer l'électricité, et celui que manifestent les aspérités et les arêtes des corps pour déterminer la phosphorescence, indique une nouvelle relation entre la lumière électrique et la lumière phosphorique, relation que taut d'autres faits établissent déjà.

Influence des masses.

Nous n'avons plus à examiner que l'influence des masses sur la production de la phosphorescence.

On a remarqué qu'un cristal de spath d'Islande limpide, d'un millimètre d'épaisseur, mis sur la pelle chaude, devenait lumineux dans toute la masse, tandis qu'il restait obscur quand il était réduit en poudre. Un cristal d'arragonite de 4 à 5 millimètres de grosseur ne se comporte pas de même, et acquiert une vive lueur jaune sur le charbon ou sur la pelle, et devient plus lumineux quand il est réduit en petits fragments : sa lumière n'a qu'une teinte bleuâtre sur la pelle chauffée au rouge obscur.

Le feldspath adulaire cristallisé n'est pas phosphorescent en masse sur le support incandescent, tandis que sa poudre est très-lumineuse. Les coryndons, le spinelle, l'émeraude produisent des effets semblables, qui sont inverses de ceux que l'on obtient avec les cristaux de carbonate de chaux exempts de matières étrangères.

Tels sont les faits les plus importants, qui suffisent pour donner une idée assez complète des phénomènes de phosphorescence produits sous l'influence de la chaleur; mais pour mieux en voir la cause, il faut les rapprocher des effets produits par insolation.

De la phosphorescence produite sous l'influence de la lumière électrique.

Avant de traiter de la phosphorescence produite par insolation, c'est-à dire sous l'influence de la lumière solaire, il est nécessaire d'étudier celle qui résulte de l'action de la lumière électrique. Les phénomènes vont ici prendre une certaine importance non-seulement en raison de l'éclat et de l'intensité des effets, mais encore à cause du rapprochement que l'on peut en faire avec les changements qui s'opèrent dans la constitution des corps par l'effet des décharges électriques.

Les corps conducteurs n'acquièrent aucune phosphorescence sensible quand ils sont sous l'influence des décharges électriques, de même que lorsqu'on les chauffe.

Pour soumettre les corps à l'action des décharges électriques, on les plaçait jadis sur la tablette de l'excitateur universel quand ils étaient en fragments, et en outre dans des tubes quand ils étaient en poussière, de manière que les extrémités des conducteurs fussent à une distance de 2 à 3 centimètres; on faisait ensuite passer de l'une à l'autre, à travers ces corps, la décharge d'une batterie électrique d'un certain nombre de bocaux. Si l'on opère ainsi avec un morceau de craie, on aperçoit immédiatement après, dans le trajet parcouru par l'électricité, une traînée de lumière diversement colorée, et dont la durée est quelquefois d'une minute, et même plus. En opérant sur différents corps, on remarque des effets semblables; seulement, la couleur de la lumière varie considérablement, non-seulement en raison de leur nature, mais encore selon qu'ils sont en poudre ou en petits fragments. Ainsi, un fragment de cristal de baryte sulfatée donne une lumière verte brillante; l'acétate de potasse sec, le sucre et l'acide succinique produisent des effets semblables, mais plus durables; les coquilles

d'huître calcinées donnent les couleurs prismatiques; les effets sont moindres quand elles sont réduites en poudre, et sont plus brillants et de plus de durée quand elles ont été calcinées avec du soufre. Le spath-fluor, réduit en poudre grossière, émet de la lumière verte qui se reproduit chaque fois qu'on l'expose à la décharge. Le cristal de roche donne une lumière rouge qui devient ensuite blanche.

Avec le mode d'expérimentation employé, il était impossible de savoir si l'effet produit était dû à l'action mécanique du choc électrique ou à l'action de la lumière; la question n'a été résolue que lorsque les corps ont été placés à une certaine distance du lieu où s'opéraient les décharges, afin que la phosphorescence ne pût être attribuée qu'à l'action de la lumière. C'est ce dont nous nous occuperons dans un instant. La décharge électrique possède encore la faculté remarquable de rendre la propriété phosphorique aux corps qui l'ont perdue par la chaleur. Nous citerons pour exemple le spath-fluor violet calciné fortement, et qui, exposé à la lumière solaire, ne donne plus aucune phosphorescence, la manifeste aussitôt qu'il a été soumis à la lumière électrique; il émet alors une lueur d'un violet foncé. La chaux phosphatée produit le même effet; seulement la lumière est jaune. Cette substance, dans la même circonstance, est plus phosphorescente en fragments qu'en poudre.

La lumière électrique est capable en outre de faire acquérir la phosphorescence aux corps qui ne la possédaient pas auparavant. Un morceau de spath-fluor blanc qui ne présentait aucune trace de phosphorescence par la chaleur, en a donné une couleur de feu après cinq ou six décharges d'une batterie composée de plusieurs bocaux.

Un diamant sur lequel on avait fait passer douze décharges, a donné une couleur d'un bleu pâle après avoir été chauffé.

En général les diamants, qui ne sont point lumineux, le deviennent après quelques décharges. Le marbre blanc, non phosphorescent dans son état naturel, le devient également après avoir été soumis à l'action de dix ou douze décharges, et il émet alors une faible couleur rouge.

Pearseall a observé que des fluors blancs qui avaient une teinte jaunâtre, après six ou sept décharges au contact en prenaient çà et là une bleuâtre. La phosphorescence ainsi produite était d'autant plus forte que la teinte était plus visible. Cette observation n'est pas sans importance quand on la rapproche de celle qui concerne les propriétés phosphoriques des fluors colorés qui sont lumineux par la chaleur, et de la propriété négative des fluors blancs. Pour bien mettre en évidence le

fait observé par Pearseall, il faut placer quelques fragments de fluor blanc dans un tube de verre ouvert aux deux extrémités, et dont les deux bouts sont en communication avec ceux d'un excitateur et éloignés l'un de l'autre de 1 à 2 centimètres. On y fait passer une décharge. Les parties non colorées ne sont pas phosphorescentes, tandis que les parties colorées extérieurement possèdent cette propriété. Dans le cas actuel, on ne peut attribuer la coloration des fragments de fluor blanc à l'action de la lumière, mais bien à la décharge qui agit comme force mécanique. Les substances minérales, telles que les coryndons, le grenat, l'améthyste, n'ont jusqu'ici donné aucune trace de phosphorescence après le choc électrique.

Les effets de la lumière sur les corps qui ont éprouvé le choc électrique sont très-remarquables; il faut pour cela opérer sur des fluors calcinés préalablement, puis électrisés; on les divise en deux portions: l'une est renfermée dans un tube de verre, puis exposée aux rayons solaires, tandis que l'autre reste enveloppée dans du papier et placée dans l'obscurité. Les fragments sont ensuite chauffés à différents intervalles de temps. Dans une expérience, partie des fragments, exposés pendant vingt et un jours à la lumière solaire, avaient perdu toute leur phosphorescence, partie avaient éprouvé une diminution sensible dans leurs propriétés lumineuses, tandis que les fragments conservés dans l'obscurité jouissaient de la propriété qu'ils avaient acquise par l'effet de la décharge.

On a vu précédemment que les coquilles d'huîtres calcinées émettaient une vive lumière en les exposant aux décharges électriques; mais il est facile de montrer que la lumière électrique suffit seule pour les rendre lumineuses. En effet, si l'on introduit des fragments de ces coquilles dans de petits tubes de verre fermés hermétiquement et placés eux-mêmes dans d'autres tubes plus larges, et que l'on fasse passer un grand nombre de décharges électriques sur la surface extérieure de ces tubes, les fragments deviennent phosphorescents en les chauffant. Pour ne laisser aucun doute sur l'influence de la lumière électrique dans cette circonstance, on peut exposer les coquilles à la lumière voltaïque produite entre deux pointes de charbon qui communiquent avec les extrémités d'une batterie de cent paires; ces coquilles acquièrent, quoiqu'à un moindre degré, la faculté lumineuse au travers du verre quand on les chauffe ensuite. En général, les effets de la lumière voltaïque sont moins marqués que ceux provenant de l'électricité ordinaire, qui est à plus forte tension. Quand nous aurons exposé les phénomènes de phosphorescence par insola-

tion, nous essayerons d'expliquer comment les décharges agissent en cette circonstance ; continuons l'examen des phénomènes lumineux produits sous l'influence des décharges électriques, afin de voir s'il n'y a pas dans la lumière électrique autre chose que de la lumière proprement dite agissant pour développer le pouvoir lumineux.

L'on peut, avons-nous déjà dit, faire briller les phosphores de Bologne et de Canton, qui ne sont autres que des sulfures terreux, par le moyen de décharges électriques. Celle de la bouteille de Leyde suffit lors même que la substance se trouve à trois centimètres au-dessous du conducteur, dans un tube de verre fermé hermétiquement. Le choc n'est là pour rien.

Seebeck ayant placé une substance phosphorique dans des tubes formés de verre jaune, rouge et bleu foncé, à 3 centimètres au-dessus des boules du conducteur, remarqua qu'à l'instant de la décharge d'une bouteille de Leyde, la substance phosphorique qui se trouvait dans le tube bleu émettait de la lumière, tandis que les autres restaient à leur état ordinaire. Ces expériences mettent en évidence un fait important, c'est qu'il existe des substances colorées dont les unes laissent passer la portion de la lumière qui produit la phosphorescence, et dont les autres l'arrêtent. De là on dut conclure qu'il existait dans la lumière des rayons phosphorogéniques, comme il y avait des rayons chimiques et calorifiques, différents des rayons lumineux. Ce fait important a été mis hors de doute par des expériences dont les premières ont été faites par nous, et les autres conjointement avec M. Biot.

Nous nous sommes d'abord attaché à voir comment agissait la lumière électrique, dont les effets sont complexes en raison du rôle que peut jouer la décharge. Voici ce que l'on savait avant que nous nous occupassions de cette question. Si l'on fait passer une étincelle électrique sur la surface d'un corps non conducteur, son trajet y est marqué par une raie lumineuse, claire, qui reste visible pendant longtemps dans l'obscurité. Cette phosphorescence, comme on le verra bientôt, est tout à fait analogue à celle qui est produite par la lumière solaire et la lumière diffuse ; néanmoins, avec les particularités suivantes, l'intensité de la phosphorescence croît avec la force de la décharge ; mais on atteint bientôt un degré qu'on ne peut dépasser sans courir le risque d'altérer la substance. En interposant une lame de verre entre le corps et l'étincelle, et faisant glisser la décharge sur la surface de ce dernier, la phosphorescence est plus faible.

Pour savoir de quelle manière la lumière électrique produit

la phosphorescence, il faut placer les corps sur la tablette de l'excitateur universel, à une distance de 2 à 3 centimètres des boules entre lesquelles éclate la décharge.

Des coquilles, de la craie sèche, du sucre, etc., laissent apercevoir dans tout le trajet de l'électricité une traînée lumineuse dont les teintes, plus ou moins vives, sont changeantes et de peu de durée. La couleur, l'intensité et la durée des effets varient avec la nature des corps. Il est facile de montrer que la lumière electrique agit pour produire la phosphorescence, non par suite du choc ou d'influences électriques, mais en raison de facultés propres à la radiation. A cet effet, on place sur l'excitateur une capsule de porcelaine remplie de coquilles d'huîtres nouvellement calcinées, et l'on fait passer à 2 centimètres de distance la décharge de dix-huit bocaux. Les coquilles s'illuminent aussitôt, et la lumière s'éteint plus ou moins promptement, suivant leur degré d'excitabilité; à la distance de 1, de 5, de 20 et de 30 décimètres, la phosphorescence se manifeste toujours, seulement les effets vont en diminuant avec la distance; elle se montre encore là où les actions électriques par influence ne sont pas appréciables aux appareils les plus délicats.

Les fluors verts soumis à l'action de la lumière électrique se comportent comme les coquilles, si ce n'est à un degré beaucoup plus faible; mais ce n'est pas tout : en soumettant à l'expérience des coquilles d'huîtres peu excitables, placées à une distance de plusieurs décimètres, la phosphorescence produite à la première décharge est ordinairement faible; à la seconde, elle est plus marquée, et en continuant les décharges, la faculté lumineuse s'exalte davantage jusqu'à acquérir une intensité considérable. On voit par là que la lumière électrique directe, agissant à distance, prédispose de plus en plus les particules des coquilles d'huîtres à devenir phosphorescentes. Nous ne devons pas oublier de dire que, dans les mêmes circonstances, nous avons eu occasion de remarquer que l'odeur d'hydrogène sulfuré provenant de la réaction du sulfure de calcium sur l'eau contenue dans l'air, paraissait plus sensible à mesure que le nombre des décharges augmentait, ce qui semble faire croire que sa tendance à la décomposition croît en même temps que la faculté lumineuse se développe à distance.

Voyons maintenant si la lumière électrique, en traversant des diaphragmes de diverses substances, perd ou conserve la propriété de rendre phosphorescents à distance un grand nombre de corps. Les substances que nous avons employées comme écrans sont le verre

blanc, le verre rouge coloré par le protoxyde de cuivre, le verre violet, les verres colorés de diverses teintes, et le papier glacé ou gélatine en feuilles. Nous savions parfaitement qu'à part le verre rouge, les autres verres ne laissaient point passer de rayons simples; mais nous pensions que ces substances suffisaient pour nous donner des différences assez tranchées dans le mode d'action de la lumière électrique. Voici les expériences telles que nous les fîmes :

La distance entre la capsule remplie de coquilles d'huîtres nouvellement calcinées, et les boules de l'excitateur, étant toujours de 2 centimètres, nous fîmes passer entre elles la décharge d'une batterie de dix-huit bocaux; l'expérience se fit dans une chambre obscure où nous étions depuis un quart d'heure, afin que notre rétine fût sensible à de faibles radiations, et nous tînmes les yeux fermés jusqu'à ce que la décharge eût éclaté, afin que l'organe de la vue ne fût pas fatigué par l'impression de la lumière électrique; les coquilles parurent aussitôt fortement illuminées. Nous recommençâmes l'expérience 10′ après, en plaçant sur la capsule une lame de verre de 3 millimètres d'épaisseur : la décharge produisit encore de la phosphorescence, mais à un degré infiniment moindre qu'avant l'interposition de l'écran; en augmentant l'épaisseur de la lame jusqu'à 8 millimètres, la phosphorescence devint plus faible encore, quoique le verre fût parfaitement diaphane. Cette expérience, répétée à 1 et même à 2 décimètres de distance, donna des effets semblables, seulement la lueur phosphorique allait toujours en diminuant. Une lame de verre de 1 millimètre, ainsi qu'une feuille de papier glacé très-transparente, d'une épaisseur de $\frac{1}{2}$ de millimètre, ne donna également qu'une phosphorescence très-faible. Voilà donc des corps très-diaphanes qui laissent passer la plus grande partie des rayons lumineux, et qui enlèvent à ces mêmes rayons une partie considérable de la propriété en vertu de laquelle ils rendent les corps phosphorescents.

Une lame de verre rouge d'une épaisseur de 2 millimètres, substituée au verre blanc, a enlevé à la lumière électrique le pouvoir phosphorescent, tandis qu'une lame de verre violet foncé, sensiblement de même épaisseur, s'est comportée à peu près comme le verre blanc. Cependant l'effet nous a paru plus marqué dans quelques expériences. Le verre bleu a produit un effet plus faible que le verre violet. Les verres jaunes, verts, ont tout à fait enlevé à la lumière électrique qui les traversait, le pouvoir phosphorescent. On voit donc que le verre blanc enlève aux rayons lumineux la plus grande partie de leur pouvoir phosphorescent, et que la quantité de ce pouvoir qui est enlevée par

les verres violets va en augmentant au fur et à mesure que l'on prend des verres bleus, jaunes, orangés et rouges, les verres rouges détruisant entièrement ce pouvoir. L'expérience suivante confirme l'effet que nous venons de signaler des écrans de verre blanc. Nous avons exposé des coquilles d'huîtres nouvellement calcinées à la lumière d'un morceau de phosphore brûlant dans un flacon de verre rempli de gaz oxygène; la lumière émise était des plus vives, et cependant la phosphorescence développée avait très-peu d'intensité.

En résumé, on voit que la lumière électrique, outre les propriétés lumineuses chimiques et calorifiques, possède encore une faculté phosphorogénique que lui enlèvent, en presque totalité ou en partie, différentes substances qui laissent passer cette lumière sans diminution sensible.

Nous allons continuer maintenant l'examen des effets de la lumière électrique dans la production de la phosphorescence.

On a vu que diverses substances, après avoir perdu dans l'obscurité la phosphorescence qu'elles avaient acquise par la calcination suivie de l'exposition à la lumière solaire, soit directe, soit diffuse, recouvraient instantanément cette propriété sous l'influence de la lumière développée par une décharge électrique opérée en leur présence à travers l'air, à la distance de plusieurs mètres, et que l'interposition d'un écran de verre diaphane, épais d'un millimètre, ou d'une lame de papier glacé, affaiblissait considérablement cet effet. Cette action ne provient donc pas de la portion de la radiation lumineuse qui produit la sensation de la lumière sur la rétine humaine, mais bien d'une portion de cette radiation distincte de la précédente, de même que la radiation calorifique émise en même temps que la lumière par les corps incandescents se distingue de celle-ci quand elle est absorbée par les faces d'une pile thermo-électrique revêtue de noir de fumée. Pour établir cette distinction, on a employé des écrans de diverses natures. Voici quelques-unes des expériences que nous avons faites pour mettre en évidence les rayons phosphorogéniques.

Des écailles d'huîtres furent calcinées, puis exposées pendant quelque temps à la lumière solaire, qui était alors très-faible; ramenées dans l'obscurité, elles parurent sensiblement phosphorescentes; mais cette propriété s'éteignit bientôt; et quand la lumière eut tout à fait disparu, on répartit la matière calcinée dans plusieurs capsules de porcelaine, qui furent placées à plusieurs distances, depuis 2 jusqu'à 125 centimètres, de deux sphères de cuivre, entre lesquelles on fai-

sait passer la décharge d'une batterie chargée toujours au même degré de l'électroscope à balles. Dès la première décharge, la phosphorescence reparut subitement, mais elle fut très-faible et de peu de durée; à la seconde décharge, elle devint plus vive et plus durable, et elle augmenta ainsi progressivement jusqu'à la cinquième dans toutes les capsules. La lueur présentait principalement les teintes du rouge, du jaune et du vert. L'on ne poussa pas plus loin l'épreuve.

Ayant ainsi constaté que la matière calcinée était sensible à l'influence directe, on forma un écran mixte composé d'une lame de verre et d'une lame de cristal de roche, et ayant les épaisseurs suivantes :

Lame de verre..... $3^{\text{mill.}},65$
Cristal de roche..... $5\ \ ,953$.

Les deux lames furent mastiquées par leur bord l'une à l'autre, de façon qu'une de leurs surfaces se trouvât dans le même plan.

Au degré actuel de la sensibilité de la substance d'essai, l'épaisseur du verre devait, d'après nos premières expériences, la préserver presque totalement. Mais, pour le cristal, comme son épaisseur était presque double, sa diathermansie, bien plus grande que celle du verre, devait lui permettre de transmettre, malgré son excès d'épaisseur, une plus forte proportion de la radiation totale incidente, et des portions d'une autre nature, sans offrir aucune difference de diaphanéité sensible à l'œil. L'écran mixte fut posé sur la capsule de manière que la ligne de séparation de ces deux parties répondît au milieu de l'intervalle des boules de cuivre, entre lesquelles devait s'élancer l'étincelle. La décharge effectuée, la phosphorescence reparut aussitôt, vive et brillante, sous la plaque de cristal de roche, mais elle fut nulle et insensible sous la plaque de verre. La projection de celle-ci se distinguait en noir à côté de l'autre, comme si on l'eût tracée à la règle. Bientôt l'excitation opérée s'affaibiit, et après peu d'instants tout rentra dans l'obscurité. On retourna alors l'écran, ce qui intervertissait les plans sur lesquels les deux parties se projetaient, et l'on recommença l'expérience. L'effet fut le même après la décharge. La substance calcinée resta obscure sous le verre, et devint phosphorescente sous le cristal. Plus tard, on s'aperçut que l'excitation opérée dans cette dernière portion se propageait graduellement à l'autre avant de s'éteindre.

On fit alors un nouvel écran mixte en joignant une portion de la même lame de verre, épaisse seulement de $3^{\text{mill.}}\frac{11}{20}$, avec une plaque de chaux sulfatée ayant une épaisseur de $7^{\text{mill.}}\frac{12}{20}$. Cette substance

avait été choisie à cause de sa diathermansie, analogue à celle de l'alun; du reste, sa diaphanéité ne le cédait point à celle du verre, malgré sa structure lamelleuse et son épaisseur; elle se montra supérieure non-seulement au verre, mais peut-être même au cristal de roche, pour la transmission phosphorogénique. La projection de la plaque cristallisée se dessinait en lumière sur la matière calcinée avec toutes les sinuosités de son contour. La place couverte par le verre continuait de rester obscure. Peut-être l'était-elle seulement par comparaison. L'expérience répétée en renversant l'écran mixte donna le même résultat.

On n'hésita point alors à faire un troisième écran mixte, dans lequel une portion de la même lame de verre était accolée à une plaque de cristal de roche limpide, perpendiculaire à l'axe, et ayant $41^{\text{mill.}}\frac{5}{20}$ d'épaisseur. Certes, s'il avait dû y avoir quelque avantage, il eût été du côté du verre, à cause du grand excès d'épaisseur du cristal. Cependant le sens des effets resta le même, et ce fut sous la plaque de cristal seulement qu'apparut la phosphorescence. Il en fut de même dans une quatrième expérience, où le lieu des projections avait été interverti.

Au reste, après les résultats obtenus avec la plaque de 6 millimètres, l'essai de celle-ci ne nous offrit aucun doute; car, en analysant les expériences de M. Melloni, nous avions vu qu'un flux rayonnant, qui a traversé 6 millimètres de cristal de roche perpendiculaire à l'axe, est déjà si épuré pour cette substance, qu'il peut s'y propager ensuite jusqu'à l'épaisseur de 86 millimètres, en n'éprouvant qu'une excessivement petite absorption. Toutefois, ce genre d'analogie ne peut avoir lieu tout au plus que pour une même nature d'écran et pour une même source rayonnante agissant sur une matière de sensibilité égale. Car, dans les expériences de M. Melloni, la pile revêtue de noir de fumée atteste seulement l'existence des portions de la radiation qui produisent sur elles l'impression calorifique; et s'il existait des rayons non calorifiques, quoique doués de propriétés différentes, il se pourrait qu'ils fussent insensibles pour elle et qu'elle ne les accusât pas.

Pour savoir si la radiation phosphorogénique se propageait seulement en ligne directe à travers l'air, nous avons couvert la capsule qui contenait la matière impressionnable avec un papier opaque, percé d'un petit trou rond, d'environ 1 millimètre de diamètre, que nous avons fait répondre au centre de la surface de la matière. Le papier, enlevé subitement après la décharge, a laissé voir à ce centre

un tout petit cercle lumineux, d'un éclat très-vif, le reste de la matière demeurant obscur. Mais, peu à peu, ce reste s'est aussi ému, et la phosphorescence a fini par se propager à toute la surface de la matière; puis l'effet s'est affaibli graduellement, et après quelques instants, tout est rentré dans l'obscurité.

Nous avons aussi essayé la transmission à travers une feuille de papier glace extrêmement mince; elle y a été faible, mais sensible. D'après les expériences de M. Melloni, la gélatine dont ce papier est fait est une des substances les moins diathermanes; mais, comme toute autre, elle le devient davantage quand elle est plus amincie.

Néanmoins, l'effet obtenu ici nous semblait plus fort que nous ne l'aurions attendu, d'après nos observations précédentes. Notre surprise augmenta en voyant que la même lame de verre de 3 $^{\text{mill.}}$ $\frac{1}{2}$ essayée précédemment devenait actuellement efficace, et que même une autre plaque de 12 millimètres donnait aussi des effets marqués. Nous comprîmes alors que la matière contenue dans la capsule était devenue plus impressionnable par la répétition de l'excitation que nous lui avions fait subir.

Nous recommençâmes donc nos expériences avec les écrans mixtes précédemment employés. Dans ce nouvel état, la phosphorescence fut très-visible sous la lame de verre; mais elle se montra tellement vive sous la plaque de cristal de roche et sous celle de chaux sulfatée limpide, que la lueur paraissait complétement blanche sous toutes leurs projections, dont les contours se trouvaient parfaitement définis par leur excès de lumière. Ainsi ces deux plaques manifestaient encore leur excès d'efficacité précédemment reconnu; et, conséquemment, ces nouvelles épreuves ne faisaient que rendre plus certaines les premières, en montrant que si la phosphorescence ne s'était pas d'abord opérée sous la lame de verre, c'était par le trop peu de sensibilité de la substance qui recevait la radiation, et non parce que cette radiation ne lui parvenait pas. Maintenant donc, cette substance, devenue plus impressionnable, acquérait la propriété phosphorique par l'influence de certaines portions de la radiation transmise, qui précédemment ne l'excitait pas, ou du moins pas assez pour qu'elle émît une radiation lumineuse sensible à nos yeux.

Nous étudiâmes aussi la transmission de la radiation phosphorogénique à travers des plaques de cristal de roche enfumé, et voici quel était notre but : M. Melloni avait prouvé que les radiations calorifiques de la lampe Locatelli, du platine incandescent, ou du cuivre chauffé

à 400°, se manifestaient à peu près aussi bien et aussi abondamment à travers le cristal de roche enfumé qu'à travers le cristal de roche limpide, taillé perpendiculairement à l'axe de cristallisation. Malgré la grande différence de diaphanéité que ces deux variétés présentent à l'œil, nous avons voulu voir si elles subsisteraient pour la radiation phosphorogénique. Nous avons d'abord essayé une de ces plaques, épaisse de 21 $^{\text{mill.}}\frac{15}{20}$. Sa structure interne, étudiée par la polarisation, était très-régulière; mais, quoique fort limpide, elle éteignait la radiation lumineuse; nous l'avons accolée à une lame de verre de 3 $^{\text{mill.}}\frac{11}{20}$ pour en former un écran mixte que nous avons placé, comme précédemment, au-dessus d'une capsule remplie d'écailles d'huîtres récemment calcinées, dont nous venions de constater la phosphorescence par l'influence directe de la radiation électrique transmise à distance à travers l'air. Dans une première expérience, la distance du milieu de l'étincelle à la surface de la matière sensible était de 12 centimètres. Toute la portion de cette surface, située sous le cristal, fut illuminée en forme hexagonale, conformément à sa configuration. La portion située sous le verre resta obscure.

L'expérience ayant été répétée en approchant la substance sensible jusqu'à 7 centimètres de l'étincelle, les effets furent pareils, mais plus marqués sous le cristal, et demeurèrent nuls ou inappréciables sous le verre, comme précédemment. Ils fussent sans doute devenus sensibles, si la matière non calcinée eût été plus excitée; mais il valait mieux qu'elle le fût moins, pour que l'inégalité d'impression à travers les deux portions de l'écran demeurât plus évidente.

Nous soumîmes à la même épreuve une autre plaque de quartz enfumé, pareillement limpide, mais épaisse de 90 millimètres, dont les faces étaient obliques à l'axe de cristallisation; les effets furent sensibles, mais très-faibles, et bien plus faibles indubitablement qu'ils ne l'eussent été à travers une plaque limpide perpendiculaire à l'axe.

Les exemples précédents tendent donc à prouver que la portion de la radiation électrique qui excite la phosphorescence, est physiquement distincte de celle qui produit la vision sur la rétine humaine. Les expériences faites avec les écrans diaphanes, à divers degrés de sensibilité de la matière calcinée, démontrent aussi qu'une même portion de la radiation totale est ou n'est pas efficace à produire la phosphorescence, selon l'état plus ou moins excitable de la substance qui la reçoit. Enfin, les expériences de M. Melloni sur la radiation émanée des corps incandescents de diverse nature, ont prouvé que

la portion de la radiation qui produit l'impression calorifique est pareillement distincte de celle qui excite dans la rétine la sensation de la lumière. D'après cela, il est naturel de penser que ces portions déjà observées des radiations, ou peut-être d'autres qui les accompagnent, peuvent encore avoir bien d'autres propriétés spécifiques différentes des précédentes, propriétés que nous reconnaîtrons à leur action spéciale, quand nous essayerons de les faire agir sur des matières sensibles et propres à manifester leur action par d'autres phénomènes que la sensation de la vision dans la rétine de l'homme, ou l'excitation de la phosphorescence, ou le développement de la chaleur.

Dans le cours des expériences qui viennent d'être décrites, nous avons employé aussi pour écran une lame d'eau contenue dans un anneau de verre dépoli, fermé par des lames minces de cristal de roche limpide, perpendiculaires à l'axe. L'épaisseur de l'eau entre les lames était de $3^{\text{mill.}}\frac{10}{20}$. Un diaphragme circulaire de papier, appliqué sur la lame supérieure, laissait découverte seulement la partie centrale de l'anneau, et assurait la transmission à travers le liquide. La radiation émanée de l'étincelle électrique étant ainsi transmise, s'est montrée efficace pour exciter la phosphorescence; mais nous n'avons pas déterminé son rapport avec les autres écrans d'égale épaisseur.

Pour constater les phénomènes qui viennent d'être décrits, il faut que l'observateur reste dans une obscurité complète, et y soit déjà depuis au moins un quart d'heure avant de commencer les expériences. Il doit fermer les yeux pendant que l'on charge la batterie, et, prévenu du moment auquel on doit opérer la décharge, il doit, avec une de ses mains, couvrir encore ses yeux, afin de les soustraire le plus possible à la vive lumière qui est produite; dès qu'il a entendu l'explosion, il ouvre les yeux, et doit rapidement retirer l'écran: alors il a tout le temps et la faculté nécessaires pour constater l'existence de la lumière phosphorique et en étudier les détails.

Il ne reste plus maintenant qu'à étudier la phosphorescence produite par l'étincelle électrique qui éclate dans l'air à diverses pressions. Les recherches faites à ce sujet sont dues à M. Edmond Becquerel.

Pour voir si la lumière émise par les substances phosphorescentes diminuait plus rapidement dans le vide que dans l'air, ce jeune physicien a mis des coquilles d'huîtres calcinées dans deux capsules différentes, et après les avoir exposées à la lumière du jour, il les a placées l'une sous le récipient d'une machine pneumatique, l'autre à l'air libre à côté de la cloche. Il ne vit pas la phosphorescence des coquilles diminuer sensiblement, et au bout d'une demi-heure, l'inten-

sité de la lumière émise par les coquilles contenues dans les deux capsules était la même, autant que l'on pouvait en juger par une simple comparaison. Afin d'être certain si la lumière électrique agissait de même que la lumière solaire pour rendre les corps phosphorescents dans le vide, il plaça une lame de chaux sulfatée de manière à fermer exactement une cloche dont il raréfia l'air, après avoir mis à quelques centimètres au-dessous de la lame une capsule remplie de coquilles calcinées. En faisant passer au-dessus de la chaux sulfatée dans l'air, une étincelle provenant de la décharge d'une batterie de dix-huit bocaux, les coquilles furent fortement illuminées; et laissant rentrer l'air dans la cloche, il fit passer de la même manière une seconde décharge: les coquilles ne devinrent pas sensiblement plus brillantes que la première fois. On avait employé la chaux sulfatée parce que cette substance laisse passer presque totalement les rayons phosphorogéniques de l'étincelle électrique. Les coquilles d'huîtres employées avaient été calcinées avec du persulfure de potassium. Ce pyrophore donne par insolation et par l'étincelle électrique une lumière vert jaunâtre excessivement vive.

Dans les expériences précédentes, l'étincelle électrique avait éclaté dans l'air; voyons quels sont les effets produits quand elle éclate dans le vide. Après avoir placé une capsule remplie de coquilles d'huîtres sous le récipient de la machine pneumatique, M. Ed. Becquerel fit passer, à quelques centimètres de leur surface, dans l'air raréfié, la décharge de la batterie; les coquilles furent faiblement illuminées: plusieurs décharges produisirent le même résultat. En faisant rentrer un peu d'air sous la cloche, les effets furent plus marqués, et le devinrent à un haut degré quand tout l'air fut rentré. Cette expérience, recommencée plusieurs fois avec des coquilles ou de la chaux fluatée verte, a donné les mêmes résultats. Pour prévenir l'objection que les coquilles devenaient plus phosphorescentes en raison de l'excitation produite par une série d'étincelles, M. Ed. Becquerel s'est procuré du phosphore de Bologne peu phosphorescent (sulfate de baryte calciné); en le plaçant sous la cloche et l'excitant, à plusieurs centimètres de distance, successivement dans l'air, à la pression ordinaire et dans l'air raréfié et à certains intervalles de temps, les décharges de la bouteille chargée toujours à 60° de l'électromètre à balles, il ne devenait phosphorescent d'une manière appréciable que lorsque l'étincelle éclatait à travers l'air, tandis qu'il restait presque obscur quand la décharge traversait l'air raréfié.

Pour comparer avec assez d'exactitude la lueur phosphorescente

des coquilles quand l'étincelle éclate dans l'air à la pression ordinaire et dans l'air raréfié ou comprimé, M. Ed. Becquerel s'est servi de l'appareil dont la description suit : fig. 12, pl. IX.

A B, C D sont deux ballons en verre percés de trous dans lesquels sont passées des tiges de cuivre, *a b, c m, n d, e f,* destinées à transmettre la décharge dans leur intérieur. Les deux tiges *c m, n d,* communiquent entre elles, et *e f* est en rapport avec le sol; de telle sorte qu'en établissant une communication entre la tige *a b* et l'intérieur de la batterie, l'étincelle éclate en même temps dans les deux ballons.

a b passant dans une boîte à cuir peut être enfoncée ou retirée jusqu'à ce que l'étincelle éclatant en même temps dans les ballons, rende les coquilles placées en B et D également phosphorescentes. On adapte alors une pompe pneumatique au ballon C D dont on raréfie l'air; puis, en excitant une décharge entre les tiges de cuivre, on voit, après l'étincelle, les coquilles placées en D dans l'air raréfié, beaucoup moins lumineuses que celles qui sont en B dans l'air à la pression ordinaire. D'où peut donc provenir cette action de l'air? Nous l'ignorons.

Les décharges électriques, suivant toutes les apparences, n'agissent probablement que par la lumière qui les accompagne. Cette lumière trouble très-probablement l'équilibre des électricités associées aux particules; dès lors, celles-ci doivent perdre momentanément leur position naturelle d'équilibre. Ces deux actions peuvent être accompagnées d'effets lumineux, comme nous l'avons prouvé. Les décharges se renouvelant, cet état de choses augmente également, ainsi que l'intensité des effets lumineux, lesquels subsistent tant que dure le mouvement moléculaire.

Phosphorescence par insolation.

Bon nombre de corps jouissent de la propriété d'émettre de la lumière après une courte exposition à la lumière solaire ou diffuse. Pour bien analyser les effets produits, l'observateur doit se tenir constamment dans l'obscurité, et placé de manière à exposer à volonté les corps à la lumière et à les retirer. Une chambre noire disposée de la manière suivante rempliit parfaitement ce but. Cette chambre est une guérite en bois de 1^m de large, $1^m,50$ de long et 2 mètres de haut. Fig. 19, pl. VII. Une trappe en coulisse, en avant de laquelle se trouve une tablette, permet à celui qui se trouve dans la chambre de présenter à la lumière les substances sur lesquelles il veut expérimenter; après une exposition plus ou moins

longue, il les retire, referme la fenêtre, et observe. Il doit tenir les yeux fermés tant que la trappe reste ouverte, afin que la rétine soit sensible au moindre rayonnement lumineux.

Les effets de phosphorescence par insolation paraissent dépendre, très-probablement, soit d'un changement momentané dans l'équilibre des molécules, soit de réactions chimiques entre ces molécules, telles que celles que la lumière exerce sur les couleurs végétales et sur certains composés; soit peut-être encore d'un dérangement dans l'état d'équilibre des fluides impondérables qui se trouvent dans les espaces intermoléculaires. Les substances qui possèdent au plus haut degré la phosphorescence par insolation sont les phosphores de Canton et de Baudouin, c'est-à-dire, le sulfure de calcium et le nitrate de chaux calciné. Le premier émet une couleur jaune, le second une couleur blanche. Mais comme nous ferons un article à part des phosphores artificiels, suivons à l'égard de l'insolation l'ordre adopté pour la phosphorescence par la chaleur.

A part les phosphores artificiels, les composés à base de chaux sont en général les plus phosphorescents par insolation, de même que par la chaleur. Placidus Heinrich les a ainsi classés :

1° Chaux fluatée;

2° Chaux carbonatée;

3° Diverses pétrifications;

4° Tests des animaux marins;

5° Les perles;

6° Chaux phosphatée, arséniatée, etc.

L'intensité du phénomène varie suivant la nature de l'acide. Ainsi, les fluorures paraissent occuper le premier rang; viennent ensuite les carbonates, etc. Quand le spath-fluor n'a pas été altéré par une trop grande élévation de température, il brille après quelques minutes d'exposition au soleil. La craie est très-lumineuse par insolation; il est à croire que des masses de calcaire et de craie, particulièrement celles qui restent exposées des journées entières à l'action d'un soleil ardent, peuvent, à la chute du jour, répandre au loin une faible lueur phosphorique. Ne serait-ce pas à cette cause qu'il faudrait rapporter la phosphorescence de quelques montagnes, que des voyageurs ont observée dans l'intérieur de l'Afrique?

Les combinaisons où se trouve l'acide phosphorique sont moins aptes à produire la phosphorescence par irradiation que les autres.

Le terres siliceuses paraissent inaptes à ce mode de phosphorescence; et si quelques silicates sont faiblement phosphorescents, tels

que la lazulite, l'agate, l'opale, la calcédoine, on ne doit l'attribuer qu'à des mélanges.

Le sel gemme et le sel ammoniac sont bien lumineux, ainsi que le sulfate de magnésie, l'alun, le nitrate de potasse naturel, etc.

Les diamants sont les corps sur lesquels on a étudié le plus la phosphorescence par insolation. Tous ne jouissent pas de cette propriété. Ceux qui la possèdent la manifestent après une courte exposition à la lumière. Une forte calcination la leur fait perdre. On cite des diamants qui sont restés phosphorescents pendant une heure, après quelques secondes d'exposition à la lumière. Nous reviendrons plus tard sur la phosphorescence de cette substance.

Parmi les substances minérales combustibles, le succin seul est phosphorescent : le soufre ne donne aucune trace de lumière.

Les composés de fer et de cobalt sont plus faibles dans leur phosphorescence par insolation, que ceux de plomb, de zinc et d'antimoine. La blende et l'oxyde blanc d'arsenic sont très-lumineux.

Le règne végétal est très-pauvre en composés phosphorescents; les différentes parties des plantes ne donnent qu'une faible lumière; mais elles le deviennent davantage par le desséchement. L'écorce l'est plus que le bois; l'aubier l'est très-bien. Les bois des pays chauds sont plus phosphorescents que ceux des régions tempérées. Les vieilles cannes à sucre, les dattes, la substance intérieure du coco sont bien phosphorescentes.

Les étoffes blanchies, faites de tissus végétaux, se distinguent des étoffes écrues par une phosphorescence très-prononcée.

Les substances animales qui contiennent du carbonate de chaux sont plus phosphorescentes que celles qui renferment des phosphates; mais il faut les dessécher auparavant. Exemple : les coquilles d'œufs, les coraux, les perles, les arêtes de poisson, les dents, l'ivoire, le cuir. Dans tous les corps cités ci-dessus, la phosphorescence varie en durée et en intensité. Dans les diamants et fluors, elle dure une heure; dans d'autres corps, ce n'est que quelques minutes, dans d'autres, quelques secondes seulement.

La durée et la vivacité de la lumière ne se trouvent pas toujours réunies : le spath-fluor et les stalactites en sont un exemple. La couleur émise par la lumière des fossiles est blanche. Le diamant, au commencement, paraît quelquefois rouge de feu. Il n'en est pas de même dans les préparations artificielles. Les rayons solaires agissent plus puissamment que la lumière diffuse, et celle-ci plus que celle émise quand le ciel est couvert de nuages. La lumière des chandelles,

les lumières concentrées artificielles sont impuissantes, ou du moins agissent très-faiblement, sur le diamant et le spath-fluor vert; peut-être à cause de leur faible intensité.

Les corps blancs sont plus lumineux que les corps colorés de même espèce; ceux-ci mieux que les bruns et les noirs; il faut en excepter cependant le spath-fluor, et peut-être le diamant. Dès l'instant que la phosphorescence est commencée, elle n'est pas interrompue ni par le contact, ni par la friction, ni par la compression. L'action continue même dans l'eau toutes les fois que les corps ne sont pas dissous.

La chaleur augmente l'intensité et diminue la durée de la phosphorescence; l'abaissement de température produit un effet contraire. Les minéraux sont plus phosphorescents en masse qu'en poudre. La lumière qui émane des minéraux placés dans l'obscurité est toujours blanche, soit que le rayon illuminant soit bleu ou d'une autre couleur, mais pourvu qu'il renferme des rayons phosphorogéniques. L'action phosphorescente pénètre dans les corps à une certaine profondeur, comme il est facile de s'en assurer. Le poli nuit à la phosphorescence. Un marbre est beaucoup plus phosphorescent sur la cassure récente que sur une partie polie.

On peut en général ranger dans la même catégorie comme corps non phosphorescents par insolation tous les corps bons conducteurs de l'électricité. Les corps mauvais conducteurs présentent de grandes différences dans l'intensité des effets produits; quant à ceux qui sont de médiocres conducteurs, on les regarde comme très phosphorescents.

En général, les corps isolants résistent longtemps à la phosphorescence; mais une fois qu'elle y est développée, l'émission lumineuse est durable. Dans les corps médiocres conducteurs, au contraire, la cause qui produit la lumière est ébranlée facilement; mais cette faculté n'a qu'une courte durée. Qui ne voit là des rapports immédiats avec les effets du dégagement de l'électricité dans les corps bons et mauvais conducteurs?

Il paraît exister une différence entre les effets de la chaleur et ceux de la lumière relativement à la production de la phosphorescence : les corps les plus lumineux par insolation ne brillent pas quand ils sont chauds; ainsi le carbonate de chaux, le sulfate de baryte, le phosphate de chaux artificiel, et quelques autres sels luisent parfaitement après leur exposition au soleil, lors même qu'ils n'émettent plus de lumière ou qu'une très-faible par l'action de la chaleur.

Des phosphores artificiels.

On donnait jadis le nom de phosphore aux substances qui luisent dans l'obscurité, après une exposition plus ou moins prolongée à la lumière solaire.

Le phosphore le plus anciennement connu est la pierre de Bologne, (sulfure de barium), ou sulfate de barium calciné avec une matière organique. Pour le préparer, on réduit le sulfate de baryte en une poudre grossière, et on en forme des gâteaux minces avec de l'albumine de blanc d'œuf, que l'on met sur des charbons ardents, au feu libre, pendant deux heures. On obtient ainsi un composé jaunâtre qui répand l'odeur de foie de soufre. Ce phosphore est enfermé dans un flacon de verre bouché à l'émeri; après une exposition de 10″ à la lumière solaire, il répand dans l'obscurité une lumière rouge ignée, comme un charbon ardent. L'effet lumineux dure une heure, après quoi il finit avec une lumière blanche. Le plus grand froid ne lui enlève pas sa propriété lumineuse, qui se montre également dans le vide ou sous l'eau. Il conserve sa propriété des années entières dans des tubes fermés hermétiquement.

Les sulfures terreux jouissent de la même propriété.

Le phosphore de Baudouin (nitrate de chaux calciné) est également un bon phosphore; mais il perd à l'air la propriété de luire dans l'obscurité.

Les coquilles d'huîtres, les concrétions calcaires, le sulfate de chaux, calcinés, etc., sont également phosphorescents par insolation.

Le phosphore de Canton est plus remarquable que les précédents. On le prépare en calcinant des coquilles d'huîtres en poudre à une forte chaleur, avec une partie de soufre, comprimant fortement la masse dans un creuset, et portant la température au rouge pendant une heure, après quoi on renferme le tout dans un flacon bien bouché. On peut, si l'on veut, calciner les coquilles d'huîtres et le soufre disposés couche par couche. Au lieu de soufre, on emploie aussi le persulfure de potassium. On le prépare encore en calcinant à une haute température le sulfate de chaux en poudre avec le charbon. Ce phosphore exposé pendant quelques instants à la lumière, est assez fortement lumineux dans l'obscurité. Le phosphore de Homberg est le chlorure de calcium fondu. Cette substance émet une lumière phosphorique d'un vert pâle, quand, après avoir été exposée à la lumière solaire, on la porte dans l'obscurité. Tels sont les principaux phos-

phores artificiels connus ; mais en général les plus actifs sont ceux à base de chaux et de baryte.

Diverses substances animales et végétales non phosphorescentes le deviennent quand elles ont été exposées à une forte chaleur. Nous citerons la chair musculaire, les tendons desséchés, les os brûlés, les cornes, les grains de café, les marrons, les pois, etc. Il pourrait se faire que diverses substances ne deviennent phosphorescentes que parce qu'elles sont privées d'eau.

Les couleurs que présentent les coquilles d'huîtres rendues phosphorescentes sont assez variables. Les teintes prédominantes sont le vert, le jaune, le rouge orangé, et quelquefois le bleu verdâtre. Calcinées seules, les coquilles ne présentent que deux teintes, le verdâtre et le rouge orangé. Calcinées avec du soufre, les coquilles prennent généralement une teinte jaunâtre. Il en est de même avec un mélange de soufre et de persulfure de potassium ; calcinées avec ce dernier, la couleur verte prédomine, et les coquilles sont très-phosphorescentes. Malgré cette teinte prédominante, il se trouve quelquefois des morceaux qui ont telle ou telle couleur ; pour juger alors de la teinte générale, il faut pulvériser une certaine quantité de coquilles, les exposer à la lumière solaire, et voir la teinte de la poussière.

Les phosphores artificiels, en raison de l'intensité et de la durée de leurs effets lumineux, sont employés de préférence aux autres substances phosphoriques pour l'étude des propriétés générales de la phosphorescence.

Du spectre phosphorogénique.

Les rayons solaires, ainsi que la lumière électrique, excitant la phosphorescence dans un grand nombre de corps, il est important de rechercher dans quelles parties du spectre sont situés les rayons actifs ou rayons phosphorogéniques, qui doivent occuper, comme les rayons chimiques, une place à part. Nous prendrons pour sujets de nos expériences les deux substances les plus lumineuses par insolation, savoir, les phosphores de Bologne et de Canton, c'est-à-dire les sulfures de barium et de calcium. Quelques anciens physiciens, particulièrement Beccaria, avaient annoncé, que de tous les rayons du spectre, le rayon violet était le plus apte, et le rayon rouge le moins apte à exciter la phosphorescence ; mais les expériences que nous fîmes conjointement avec M. Biot sur l'action phosphorogénique de l'étincelle électrique, nous apprirent que les rayons phosphorogéniques étaient différents des rayons lumineux. M. Edmond Becquerel est

parti de là pour rechercher la composition du spectre phosphorogénique, et s'assurer en même temps si ce spectre n'était pas traversé, comme le spectre solaire, par des raies noires. Ces recherches l'ont conduit à ce résultat important, que les raies de ces deux spectres sont absolument les mêmes, en considérant les parties de même réfrangibilité. En faisant les expériences qui l'ont conduit à ce résultat remarquable, il est parvenu à la découverte de nouveaux rayons, dont nous devons parler avant de décrire les raies du rayonnement phosphorogénique, parce que nous ferons connaître en même temps le mode d'expérimentation employé pour la découverte des raies.

On réduit en poudre un des sulfures précédemment décrits, celui de calcium, par exemple, puis, après avoir mis une couche de gomme arabique sur une feuille de papier tendue dans un cadre de bois, on la saupoudre avec la poussière de ce sulfure; on a ainsi, après dessiccation, une surface également phosphorescente dans toutes ses parties. Le papier, ainsi préparé, est placé au foyer d'une lentille donnant par projection le spectre solaire. Si l'on tient les yeux fermés pendant que le spectre réagit sur le sulfure de calcium, et que, fermant ensuite l'ouverture par laquelle passent les rayons solaires, on regarde le papier, on aperçoit deux bandes lumineuses $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, fig. 8, pl. VIII, séparées par un intervalle peu éclairé. La partie du spectre qui donne la phosphorescence au sulfure de calcium s'étend donc de G en Z, au delà de P, fig. 2. Il y a donc deux maxima d'action, l'un entre G et H, mais plus près de H, et l'autre en O. Dans la partie supérieure de la fig. 13, qui représente cet effet, les portions éclairées sont blanches, et les portions obscures noires. Il y a donc pour ainsi dire deux spectres phosphorogéniques. En laissant continuer l'action pendant quelque temps, un quart d'heure, par exemple, la lumière diffuse qui accompagne le spectre impressionne presque partout le reste de la surface, de sorte qu'en fermant de nouveau l'ouverture du volet, on voit toute la surface à peu près lumineuse, les parties $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, étant plus éclairées que les autres. Mais ce qui est remarquable, c'est que l'espace compris depuis la raie G jusqu'au delà de A est complétement obscur. La partie inférieure de la fig. 8 représente l'effet produit.

Cette expérience semble indiquer dans cette partie du spectre l'existence de rayons agissant en sens inverse des rayons phosphorogéniques, c'est-à-dire détruisant la phosphorescence. Voici comment on peut prouver l'existence de ces rayons. Avant d'exposer la surface phosphorescente à l'action du spectre, on la soumet pendant quelques secondes à l'action des rayons solaires ou de la lumière diffuse. Cette

surface devient alors lumineuse. Mais si l'on projette dessus le spectre pendant quelques minutes et qu'on regarde de nouveau la surface, on voit qu'elle est restée lumineuse, à l'exception de $\mu\nu$ qui est devenue complétement obscure, et des deux parties $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ dont l'intensité est augmentée. Cette partie $\mu\nu$ contient donc des rayons agissant en sens inverse des autres, et détruisant par conséquent la phosphorescence.

Vient-on ensuite à élever la température de la feuille de papier avec une lampe à alcool, toutes les parties antérieurement brillantes acquièrent alors une phosphorescence extrêmement vive, tandis que la partie $\mu\nu$ reste complétement obscure. D'après cela, les rayons dont nous venons de signaler l'existence enlèvent non-seulement aux molécules leur phosphorescence, mais détruisent encore complétement cette faculté quand on vient à chauffer.

Ces rayons, pour le sulfure de calcium, dans leur moins grande réfrangibilité, commencent entre G et H, mais plus près de G, et s'étendent jusqu'au delà, de ν ou au delà de A ; ils peuvent être rendus sensibles au moyen des écrans.

Que l'on prenne des verres rouges qui ne laissent passer que des rayons rouges et orangés et les rayons phosphorogéniques qui les accompagnent, on verra, comme on devait s'y attendre, que ces verres ne laissent passer que les rayons qui détruisent la phosphorescence. En effet, si l'on prend une feuille de papier préparée comme ci-dessus, et qu'après l'avoir exposée à la lumière du jour, on la rentre dans l'obscurité, où elle est alors lumineuse, et qu'on la recouvre d'une carte qui n'en couvre qu'une partie; puis qu'on place dessus un verre rouge et qu'on expose le tout à l'action des rayons solaires pendant une minute ; si l'on regarde le papier dans l'obscurité, on voit que toute la partie garantie de l'action des rayons qui ont traversé le verre rouge est encore très-brillante, tandis que le reste de sa surface est devenu obscur.

Les rayons qui traversent le rouge détruisent donc la phosphorescence, comme les parties les moins réfrangibles du spectre. On ne peut pas dire que ce soient les rayons calorifiques, car ces rayons jouissent au contraire de la propriété d'augmenter la faculté lumineuse des corps.

Un papier préparé avec le sulfure de barium donne un spectre dans lequel la partie $\alpha\beta$, fig. 9, pl. VIII, est lumineuse; mais il n'y a qu'un seul maximum, situé entre les raies I et M. Les limites du spectre phosphorogénique sont d'une part vers G, de l'autre vers P, fig. 2.

En impressionnant la surface comme ci-dessus, avant l'expérience,

on reconnaît qu'il existe également, comme avec le sulfure de calcium, un espace qui s'obscurcit depuis μ jusqu'à ν, fig. 9. C'est dans cette partie que se trouvent les rayons qui détruisent la phosphorescence et s'étendent presque aussi loin que ceux qui agissent sur le sulfure de calcium, et leurs effets sont les mêmes sur ces deux sulfures.

Passons aux raies du spectre phosphorogénique. Pour les apercevoir, il faut agrandir le spectre par projection. Celui employé dans les expériences précédentes avait la dimension de ceux dessinés sur la planche ; mais avec ces spectres on ne peut distinguer les raies. Au lieu de recevoir le spectre par projection, au foyer de la grande lentille, sur une surface enduite d'une matière phosphorescente, on place sur la route des rayons une lentille de 1 décimètre de foyer au plus, afin que le foyer de la grande lentille tombe entre le foyer et la surface de la seconde. Alors, de l'autre côté de celle-ci, on a un spectre agrandi. En promenant donc la seconde lentille dans toutes les parties du spectre primitif, puis cherchant avec un carton blanc le lieu de l'image, on a un spectre dans lequel les raies sont larges et bien distinctes. En la recevant sur la surface enduite de matières phosphorescentes, on retrouve les mêmes raies que dans le spectre lumineux. Si on veut les apercevoir plus distinctement, on fait tomber le spectre sur la surface sensible, on referme ensuite l'ouverture du volet et on chauffe le papier à 2 ou 300°. Les parties qui ont reçu l'impression des rayons phosphorogéniques deviennent lumineuses, tandis que les portions correspondantes aux raies restent totalement noires. Ces raies sont les mêmes que celles du spectre solaire, mais plus faibles à distinguer dans les rayons les plus réfrangibles que dans les rayons les moins réfrangibles.

Il est démontré, par les faits cités précédemment, qu'avec les rayons situés au delà des rayons visibles, c'est-à-dire, avec des rayons obscurs, on produit de la lumière, tandis qu'avec les rayons lumineux, rouges, orangés, jaunes, verts, blancs, on détruit cette faculté, puisque les corps deviennent obscurs.

De la coïncidence des raies dans les spectres solaires, phosphorogéniques et même chimiques, on en conclut que la cause qui produit la perte de certains rayons dans la lumière solaire, est aussi celle qui amène la disparition de ces rayons dans le rayonnement phosphorogénique.

Nous allons terminer ce qui concerne les propriétés phosphorogéniques du spectre solaire, en rapportant les principales observations qui ont été faites concernant l'action des rayons colorés sur le diamant.

En comparant la phosphorescence du diamant à celle de la pierre de Bologne préparée, Dufay a observé que tous deux émettaient l'éclat le plus brillant, lorsqu'on les expose pendant quelque temps à la lumière bleue concentrée avec une lentille. La seule différence entre ces deux substances, est que la pierre de Bologne émettait une lumière semblable à celle d'un charbon enflammé, tandis que le diamant donnait une lumière d'un blanc tirant sur le jaune. Il trouva que dans les rayons rouges ou jaunes, ces substances n'acquièrent point la phosphorescence. Cependant ils brillèrent en les exposant à l'action des rayons rouges concentrés en grand nombre au foyer d'une lentille. Dans ce cas, probablement les rayons rouges n'étaient pas simples. Tous les diamants, même ceux colorés, tels que des diamants rouges, jaune foncé, jaune d'or, restèrent obscurs, quoique exposés pendant plusieurs minutes au foyer des rayons bleus. Sans doute ces diamants, en sortant de leur gangue, étaient phosphorescents, et ils avaient perdu leur propriété par l'exposition à la lumière, de même que ceux soumis à la lumière électrique conservent indéfiniment leur faculté lumineuse s'ils restent dans l'obscurité.

Michel Grosser, qui a fait des expériences analogues à celles de Dufay, a été conduit à des résultats semblables, quant à l'influence des rayons du spectre et à celle des verres colorés. Mais ayant voulu voir si la faculté lumineuse dépendait de la présence de quelques sels, il fit les expériences suivantes. Il jeta un diamant du poids de 6 grains, non phosphorique, dans du borax en fusion, dirigea pendant un quart d'heure la flamme sur le diamant, et ne cessa de souffler que lorsque le borax évaporé en partie ne le couvrait plus. Ayant été retiré et refroidi, le diamant placé au foyer des rayons bleus concentrés par une lentille, produisit la phosphorescence la plus brillante. D'autres diamants, traités de la même manière, donnèrent les mêmes résultats. Les expériences furent répétées sur des diamants non taillés: les effets furent les mêmes. On ne peut savoir précisément les changements produits pendant le traitement que Michel de Grosser a fait subir aux diamants; mais il est probable que la température a pu modifier leur constitution moléculaire de manière à les rendre phosphorescents sous l'influence de la lumière. Tous ces exemples viennent à l'appui de l'opinion que nous avons émise sur l'importance de l'étude de la phosphorescence mise en regard de la constitution moléculaire des corps.

Phosphorescence spontanée.

Après avoir passé en revue avec d'assez grands développements les phénomènes de phosphorescence produits dans les corps inorganisés par les actions mécaniques et chimiques, la chaleur, la lumière et les décharges électriques, nous allons maintenant étudier ces mêmes phénomènes dans les composés organiques et les corps organisés, soit par l'effet d'actions lentes et spontanées, soit par la volonté de l'animal. Cette classe de phénomènes est de nature à nous révéler la présence de l'électricité dans quelques-uns des principaux phénomènes de la vie.

Dans la règne animal, nous citerons les poissons et les infusoires marins vivants ou morts : parmi les premiers, on distingue les poissons à écailles, le folade, la méduse phosphorique et divers mollusques. Le merlan, le hareng, le maquereau.

Les poissons d'eau douce deviennent aussi lumineux, mais moins facilement que les précédents. Pour les poissons marins, il leur faut une température de 8 ou 10°, une humidité soutenue et le contact de l'air. On voit par là pourquoi la phosphorescence n'est que superficielle. Les parties muqueuses sont les plus phosphorescentes.

La chair de quelques quadrupèdes est aussi quelquefois phosphorescente ; mais le cas est rare.

Parmi les insectes, il en est plusieurs qui jouissent de cette propriété ; entre autres, les fulgores (porte-lanterne), les lampyres ou vers luisants. La scolopendre électrique est une espèce de crabe nommée *cancer fulgens*.

On a observé que la quantité de lumière émise par les substances animales en putréfaction n'était pas en proportion avec cet état, mais que, bien au contraire, plus la putréfaction était grande, plus la quantité de lumière était faible ; de sorte que la phosphorescence ne se manifeste que lorsque ces substances se trouvent dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction. Il paraîtrait qu'elle se montre particulièrement dans la lutte qui a lieu entre les forces de la nature organique et celles de la nature inorganique, puisqu'elle cesse tout à fait quand celles-ci l'emportent.

Si l'on prend des harengs, et qu'on les suspende dans un endroit quelconque, mais frais, ils commencent assez promptement à devenir lumineux à l'obscurité. Leur surface se revêt d'une matière lumineuse qu'on enlève facilement avec un couteau. La lumière diminue à me-

sure que le hareng se putréfie, et finit par s'éteindre tout à fait.

Pour hâter la phosphorescence des poissons, on prend environ 12 grammes de chair de hareng, que l'on met dans une solution composée de 6 grammes de sulfate de magnésie et de 48 grammes d'eau. On place le tout dans un bocal, et on l'abandonne aux actions spontanées. Le second jour, on voit distinctement un anneau luisant sur la surface du liquide, tandis que la partie inférieure reste obscure. En remuant le bocal, le tout devient lumineux et reste dans cet état. Le troisième jour, la lumière se rassemble de nouveau à la surface, mais l'anneau lumineux paraît moins vif; en secouant le bocal, le tout devient encore lumineux. Avec une solution de sel marin, on obtient les mêmes effets.

La laite du hareng, le maquereau et sa laite, produisent aussi la phosphorescence. On a remarqué que les laites de ces deux poissons émettaient plus de lumière que le poisson lui-même; cette lumière atteint son maximum d'intensité vers la troisième ou quatrième nuit.

Hume, qui a beaucoup expérimenté sur la phosphorescence spontanée, a recherché quelles étaient les substances qui éteignaient la matière lumineuse; il a trouvé que l'eau de chaux, l'eau chargée d'acide carbonique, d'hydrogène sulfuré, produisaient cet effet. Il y a, au contraire, des substances qui ont la propriété de devenir lumineuses quand on les mêle avec la matière enlevée dessus un hareng préparé dans la solution de sulfate de magnésie, telles que les solutions de carbonate de soude, de tartrate de potasse, de phosphate de soude, de nitrate de potasse, le miel, le sucre en solution.

Quand la lumière spontanée est éteinte, on peut facilement la reproduire: à cet effet on prend une solution de 21 grammes de sulfate de magnésie dans 24 grammes d'eau dans laquelle la matière lumineuse du poisson s'est éteinte; on y ajoute six fois le volume d'eau, et le liquide devient parfaitement phosphorescent; il conserve cette faculté pendant quarante-huit heures. On peut répéter l'expérience d'une manière inverse, c'est-à-dire éteindre une solution lumineuse en y ajoutant du sulfate de magnésie. Cette expérience prouve que la phosphorescence dépend d'un arrangement moléculaire, et que l'on peut éteindre et raviver une dissolution phosphorique un certain nombre de fois. Dans une série d'expériences, Hume a obtenu successivement dix extinctions. Les solutions faites avec le sel marin produisent les mêmes effets.

La lumière spontanée est rendue plus vive par le mouvement.

Ce fait est d'accord avec la manière dont nous envisageons la production de la phosphorescence; elle n'est pas accompagnée d'un dégagement de chaleur appréciable au thermomètre.

Des harengs lumineux, placés dans un mélange frigorifique composé de neige et de sel marin, s'éteignent peu à peu. Dans une expérience, au bout d'une heure et demie, la lumière était totalement éteinte et les poissons gelés; en les mettant dans de l'eau froide pour les faire dégeler, ils reprirent leur état lumineux. L'abaissement de température éteint également la phosphorescence du bois dans un certain état de décomposition, ainsi que celle du lampyre.

Si l'on place devant un foyer de chaleur une partie d'un hareng lumineux et qu'on ne l'y laisse que peu de temps, mais de manière à ce qu'elle s'échauffe fortement, en le transportant dans l'obscurité, on trouve que le côté qui a été exposé au feu est devenu sombre, tandis que l'autre reste lumineux.

L'eau bouillante éteint aussi la phosphorescence. Il n'en est pas de même du bois faiblement luisant quand on le met dans de l'eau tiède; sa phosphorescence augmente, et il finit par reluire d'une manière remarquable. En élevant la température jusqu'à l'eau bouillante, la phosphorescence s'éteint et finit par disparaître.

Quand on chauffe le fond d'un tube rempli d'un liquide phosphorescent à la partie supérieure, en repos depuis quelque temps, la matière lumineuse descend en filets jusqu'au fond, et s'éteint graduellement après avoir illuminé tout le liquide. Pour que cet effet s'opère, il faut que la matière qui éclaire acquière de la densité par l'action de la chaleur. Cette expérience réussit bien en opérant avec des solutions de sulfate de magnésie, de soude, de sel marin, de sel ammoniac; si l'on emploie les deux premiers, la proportion la plus convenable est 1 p. de sel et 8 p. d'eau.

Quand on mêle la matière lumineuse avec du coagulum conservé pendant quelque temps et devenu noir par la putréfaction, la lumière s'éteint peu à peu. Si l'on mêle le liquide lumineux avec du sérum en décomposition, la matière lumineuse est rejetée en globules et s'attache à la paroi du vase. L'urine, quand elle est vieille, éteint la matière lumineuse très-promptement. Il en est de même de la bile et du lait tourné, tandis que le lait devient lumineux. Tels sont les phénomènes généraux relatifs à la phosphorescence spontanée.

De la phosphorescence des lampyres.

La lumière émise par cet insecte (suivant plusieurs physiciens, et principalement M. Macaire, *Bibl. universelle*, 1821), commence à être visible entre sept et huit heures du soir dans les mois chauds de l'année, et assez ordinairement au coucher du soleil ; elle est produite au moyen d'un appareil qui existe dans l'abdomen. On aperçoit effectivement sur la surface intérieure des trois derniers anneaux une matière jaune blanchâtre, demi-transparente, qui, vue au microscope, présente une organisation de fibrilles composées de nombreuses ramifications, et qui émet une vive phosphorescence. On a remarqué que la volonté de l'animal influe singulièrement sur le phénomène, puisque le bruit ou le mouvement suffit pour le déterminer à affaiblir sa faculté lumineuse.

Les lampyres, suivant M. Macaire, conservés dans une boîte à l'abri de la lumière du jour, ne deviennent pas phosphorescents lorsqu'on ouvre la boîte pendant la nuit. L'influence de la lumière solaire est donc nécessaire pour la production du phénomène, à moins que l'animal, gêné dans ses habitudes, ne soit plus apte à devenir lumineux. Sa volonté dominant cette faculté, il est certain que l'action nerveuse y entre pour beaucoup.

Si l'on chauffe un lampyre vivant et obscur dans de l'eau dont la température soit de 14° cent., à la première sensation de chaleur, l'animal s'agite beaucoup, et à 27° la lumière commence à paraître; son éclat est des plus vifs à 41°. Bientôt après l'animal meurt, sans que pour cela la phosphorescence disparaisse, car elle continue jusqu'à 57°. Si le lampyre est jeté dans de l'eau à 45 ou 50°, il meurt de suite, et acquiert une vive phosphorescence. Il en est encore de même avec les lampyres morts, mais non desséchés, pourvu toutefois qu'ils n'aient pas été exposés à une température de 55 à 60°.

Un lampyre mort ayant été placé dans 48 grammes d'eau à la température de 14°, dans une fiole à large ouverture, que l'on mit ensuite dans de l'eau bouillante, la lumière du lampyre augmenta en intensité et devint plus vive.

La phosphorescence diminue par le froid, et cesse quand la température est au-dessous de 12°. Si l'on expose l'animal à l'action de la chaleur, il reprend sa faculté lumineuse. Cette propriété se retrouve également dans les corps inorganiques doués de la phosphorescence.

En enlevant la tête d'un lampyre, la lumière s'affaiblit peu à peu,

puis s'éteint, pour reparaître ensuite, mais avec moins d'éclat qu'avant; en augmentant l'action de la chaleur, il reluit davantage.

Dans le vide, l'animal paraît mort pendant quelque temps. Si on le chauffe alors jusqu'à 50°, la lumière ne paraît pas; tandis que s'il est chauffé préalablement dans un tube plein d'air, il jette une vive lumière; aussitôt que l'on rend l'air, le corps de l'animal reprend ses dimensions et une vive lumière se manifeste. Dans le gaz oxygène, il y a aussi émission d'une vive lumière, qui jette plus d'éclat que celle que l'on obtient dans l'air à l'instant où on élève la température. Le gaz oxyde de carbone produit à peu près les mêmes effets. Dans l'hydrogène, un lampyre luisant y meurt bientôt, et la lumière ne paraît plus, même en appliquant l'action de la chaleur; même effet dans les gaz acide carbonique, sulfureux, hydrogène sulfuré.

Les décharges électriques successives ne ranimeut pas la phosphorescence quand elle est perdue. Il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque. L'animal vivant et obscur, placé dans le circuit voltaïque, y devient légèrement lumineux; on augmente encore l'action en l'humectant d'eau pour rendre son corps meilleur conducteur. Si l'on enlève la tête de l'animal et que l'on introduise l'un des fils conducteurs de la pile jusqu'auprès des trois anneaux et l'autre dans une partie telle que le courant traverse le corps, la phosphorescence se manifeste de la manière la plus vive, surtout lorsque le courant traverse la partie inférieure de l'abdomen où se trouve l'organe lumineux. Dans le vide, il n'y a aucun effet.

La matière seule, soumise à l'expérience, augmente d'éclat jusqu'à environ 41°, après quoi elle diminue, devient rougeâtre et cesse tout à fait à 52°. Elle se comporte en géuéral dans les gaz comme le lampyre. Tout concourt à faire rentrer les phénomènes lumineux propres à ces insectes dans la phosphorescence spontanée. On voit donc que dans le lampyre, et probablement dans les animaux lumineux, la phosphorescence est le résultat d'une action chimique que domine la volonté de l'animal, puisqu'il a la faculté de la diminuer insensiblement jusqu'au point de la faire disparaître tout à fait. Passons maintenant à la phosphorescence des infusoires.

M. Ehrenberg, qui a étudié la lumière émise par les infusoires et les annélides, qui, dans certaines contrées, rendent la mer lumineuse, surtout lorsqu'une brise légère agite sa surface, a placé sur le porte-objet de son microscope de l'eau renfermant de ces animacules; il a été fort étonné de voir que la lueur diffuse qui les entourait n'était autre que la réunion d'une multitude de petites étincelles qui partaient de

tous les points de leur corps, et particulièrement du corps des annélides. Ces étincelles se succédaient avec une telle rapidité, elles avaient une telle ressemblance avec celles que l'on observe dans les décharges électriques, que M. Ehrenberg n'hésita pas à établir leur identité. Il s'est assuré que la lumière émise n'était pas due à une sécrétion particulière, mais bien à un acte spontané de l'animal, et qu'elle se manifestait aussi souvent qu'on l'irritait par des moyens mécaniques ou chimiques, c'est-à-dire en agitant l'eau ou en versant dedans un acide. C'est, de plus, une analogie avec la torpille, qui ne lance sa décharge que lorsqu'on l'irrite. De même, dans ces animalcules, comme dans la torpille, la décharge recommence après un certain temps de repos. De cette similitude d'effets dans les mêmes circonstances, ne peut-on pas en conclure une identité dans les causes ? Il est à remarquer encore que les phénomènes lumineux sont d'autant plus marqués, que les animaux sont plus petits. Il semblerait que cette profusion de fluide électrique, émise par les animaux des classes inférieures, soit destinée à remplir d'autres fonctions dans les êtres d'un ordre plus élevé.

Voici encore quelques observations sur la phosphorescence des substances organiques. Dans le règne végétal, nous placerons en première ligne parmi les corps phosphorescents spontanément, le bois dans un certain état de décomposition et diverses fleurs. Boyle avait déjà reconnu, en 1668, que la lueur du bois phosphorique disparaissait à mesure qu'on faisait le vide dans un récipient où on le plaçait ; en faisant rentrer l'air, le bois reprenait sa faculté lumineuse. L'air comprimé ne modifie en rien la lumière émise, qui a besoin seulement, pour être produite, de la présence de l'oxygène ; mais comme la combustion est très-lente, une plus grande quantité d'oxygène n'influe en rien sur l'intensité des effets lumineux.

D'après M. Dessaignes, tous les bois, de quelque nature qu'ils soient, deviennent phosphorescents, pourvu qu'ils soient pénétrés d'eau, exposés à une température de 8 à 12° et en contact avec l'air, et que le bois se trouve dans un état particulier de décomposition ; quand la phosphorescence cesse, le bois a perdu sa flexibilité, sa force de tissu et une grande partie de son poids. Le ligneux est intact, quoique sans force de cohésion.

Si l'on enferme du bois luisant dans un vase rempli de mercure, on obtient de l'acide carbonique, ce qui prouve qu'il y a une combustion lente, et par suite un dégagement d'électricité accompagné d'émission de lumière, attendu que le bois est mauvais conducteur.

Jusqu'ici on a fait peu de recherches sur la phosphorescence des végétaux : nous allons indiquer quelques faits particuliers pour faire sentir la nécessité de multiplier les observations.

Linnée avait déjà décrit un *byssus phosphorescens* que plusieurs botanistes assurent être très-phosphorescent. M. Delille, qui s'est occupé des effets lumineux de ce byssus et de quelques autres champignons, a observé encore ce phénomème sur le champignon de l'olivier, dans les environs de Montpellier ; il a remarqué que l'hymen ou la face inférieure lamellée était la seule partie qui fût lumineuse ; et comme cette face est tournée vers la terre, ce n'est que le reflet de la lumière qui puisse faire apercevoir le phénomène pendant la nuit. Quand cet agaric commence à croître, il est phosphorescent pendant plusieurs nuits, même lorsqu'il ne fait plus partie de l'arbre sur lequel il croît habituellement. Il commence à luire un peu avant la nuit, et cesse après le soleil levé. Il ne donne jamais de lumière dans le jour, quelle que soit l'obscurité dans laquelle on le tienne renfermé. Il semblerait résulter de cette observation que l'influence soutenue de la lumière est, comme dans le lampyre, une condition indispensable à la production du phénomène.

Diverses fleurs, telles que la capucine, le souci, montrent, dit-on, des phénomènes lumineux par scintillation pendant les nuits des plus beaux jours de l'été. Ce genre de phosphorescence est analogue à celui qui a été observé dans les annélides par M. Ehrenberg.

Comme nous n'avons encore que très-peu de notions sur l'intervention des fluides impondérables dans la constitution des corps organisés, il nous est impossible de donner une explication entièrement satisfaisante des faits, que nous nous bornons seulement à mentionner.

Phosphorescence de la mer.

La phosphorescence de la mer a été observée depuis un temps immémorial. Dans certaines contrées, le phénomène est tellement brillant, que les personnes qui prennent le moins d'intérêt aux phénomènes naturels sont frappées de l'effet magique qu'il produit quelquefois.

Dans toutes les régions océaniques, mais particulièrement sous la zone tropicale, dès la chute du jour, on voit jaillir du sein des eaux une lumière phosphorique plus ou moins vive, qui est due, soit à des animalcules, soit à des matières organiques tenues en suspension dans ces eaux, et analogues à la mucosité qui suinte des poissons de mer dans lesquels la phosphorescence se manifeste. Cette lumière se montre aux crêtes des vagues qui retombent sur elles-mêmes autour du gou-

vernail du vaisseau, dans les lames qu'entr'ouvre la proue et dans les flots qui se brisent sur les récifs et les rochers, et partout où l'eau de la mer est percutée. L'effet est souvent si remarquable, qu'un bâtiment poussé par un vent violent laisse au loin derrière lui une trace lumineuse qui s'efface insensiblement.

Il existe dans la mer une foule d'animalcules qui jouissent de la phosphorescence, et dont les débris contribuent à rendre la mer lumineuse.

L'observation de MM. Quoy et Gaimard prouve effectivement que les débris des corps organisés sont une des causes de la phosphorescence de la mer. Étant mouillés dans la petite île de Rawak, placée sous l'équateur, ils virent un soir, sur l'eau, des lignes d'une blancheur éclatante; en les traversant avec leur canot, ils voulurent en prendre une partie; mais ils ne trouvèrent qu'un fluide dont la lueur disparut entre leurs doigts peu de temps après. Pendant une nuit calme, ils virent près du vaisseau beaucoup de zones semblables, blanches et fixes. Les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophytes d'une petitesse extrême, et qui renfermaient en eux un principe de phosphorescence si subtil et tellement susceptible d'expansion, qu'en nageant avec vitesse et en zig-zags, ils laissaient sur la mer des traînées lumineuses dont nous venons de parler. Ils mirent le fait hors de doute en plaçant dans un bocal rempli d'eau deux de ces animalcules, qui rendirent immédiatement toute l'eau lumineuse. Ils constatèrent en outre que la chaleur était une des causes déterminantes de la faculté phosphorique de ces zoophytes.

Les observations que nous avons faites avec M. Breschet dans les eaux de la Brenta, confirment les précédentes, et prouvent que la phosphorescence de la mer peut être due à une matière organique intimement combinée ou mélangée avec l'eau, analogue à celle qui recouvre le hareng et d'autres poissons de mer quand ils sont phosphoriques. Les eaux de cette rivière, à quelques milles de Venise, jouissent de la propriété, dans les grandes chaleurs, quand elles sont ébranlées par le plus léger choc, de devenir fortement lumineuses. L'effet, sans exagération, peut être comparé à celui produit dans un bol de punch enflammé que l'on agite avec une cuiller; le corps le plus léger que l'on jette dans l'eau suffit pour faire naître la lueur, non-seulement au point touché, mais encore dans toutes les ondes provenant de l'ébranlement du liquide; de sorte que dans une obscurité très-grande on peut suivre très-loin toutes ces ondes brillantes. Il est hors de doute

que ce brillant phénomène est dû à l'ébranlement de l'eau, quels que soient les corps étrangers qu'elle tienne en dissolution ou en suspension. Or, il ne peut y avoir qu'une matière intimement combinée ou mélangée avec elle qui puisse produire un semblable effet, puisque toutes les parties de l'eau possèdent la faculté lumineuse. Nous ferons remarquer que cette faculté diminue à mesure que l'on approche du bras de mer qui sépare Venise de l'embouchure de la Brenta ; il arrive un point où elle n'est plus sensible : dès lors, il est permis de croire que les matières organiques qui se trouvent dans l'eau stagnante de la rivière, et qui sont dans un état particulier de décomposition par suite de la chaleur du jour, se trouvant intimement combinées ou mélangées à l'eau, éprouvent un ébranlement moléculaire par suite du choc communiqué à l'eau, et qui suffit pour rendre celle-ci lumineuse.

Une preuve que ces matières organiques se trouvent dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction, c'est que, si l'on tient l'eau renfermée dans des vases pendant quelques heures, elle perd ses propriétés lumineuses.

Conclusions.

Nous croyons avoir passé en revue les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur la phosphorescence. Elles ont été classées avec le plus d'ordre qu'il a été possible, afin de montrer la relation existant entre les principaux phénomènes qui constituent la phosphorescence proprement dite. On a vu que ces phénomènes sont produits par le frottement, la percussion, les actions mécaniques en général ; la lumière, la chaleur, les décharges électriques, les actions chimiques vives et lentes, et l'acte de la volonté chez les animaux des classes inférieures, qui possèdent cette faculté souvent à un haut degré, tandis que les classes supérieures en sont privées. La phosphorescence paraît donc se manifester toutes les fois que les particules des corps perdent leur position naturelle d'équilibre par une cause quelconque.

Or, comme dans les mêmes circonstances l'équilibre des électricités qui sont associées aux particules des corps est également troublé, leur recomposition, quand elle est plus ou moins de temps à s'effectuer, doit produire de la lumière; dès lors, les corps très-bons conducteurs donnant lieu à une recomposition immédiate, les effets lumineux ne doivent pas être visibles ; aussi trouve-t-on que les corps conducteurs ne sont pas phosphorescents.

On peut se demander comment il se fait que la lumière produise un semblable effet ; la réponse est facile. La lumière, en agissant sur les électricités associées aux particules, peut très-bien déranger leur position d'équilibre ; de ce déplacement résulte une perturbation dans l'arrangement des particules, à tel point que si l'on soumet à la lumière électrique des cristaux de spath-fluor non phosphorescents, ils se colorent et deviennent lumineux par la chaleur. On trouve sur quelques-uns des teintes violacées plus vives sur les bords ; sur d'autres, des teintes bleues plus fortes sur les angles des fragments et sur les angles solides des fentes, où les couleurs sont inégalement réparties. Les portions de fluor qui sont naturellement le plus colorées sont aussi celles qui, après avoir été blanchies par l'action de la chaleur et avoir perdu leurs facultés lumineuses, recouvrent le plus promptement par l'électricité, du moins partiellement, les couleurs qui leur sont propres, ainsi que la faculté lumineuse qui les accompagne. On peut donc, au moyen de la lumière électrique agissant au contact, modifier le mode d'agrégation des particules, de manière à rendre les corps phosphorescents ? D'après cela, comme il n'est pas probable que la lumière agisse directement sur les particules, ce n'est que par son action sur l'électricité qui leur est associée qu'elle peut amener le nouvel arrangement moléculaire. Au surplus, nous donnerons encore comme preuve de l'influence que la lumière exerce sur l'arrangement moléculaire des corps les exemples suivants. Les naturalistes citent un grand nombre de substances, et particulièrement de variétés de spath-fluor et de chaux phosphatée, qui jouissent pendant quelque temps, après leur sortie du sein de la terre, de la faculté lumineuse, et qui la perdent ensuite graduellement. Il est infiniment probable que la perte de cette propriété doit être attribuée à un changement dans le groupement des particules, produit par l'action répétée de la lumière solaire, ou peut-être par des variations de température. Mais comme on obtient des effets analogues avec des fluors qui, ayant été exposés à l'action de la lumière électrique, ont été conservés à l'obscurité, puis exposés au jour, dans ce cas la cause du changement moléculaire n'est pas douteuse. Cette opinion est appuyée de faits tellement bien constatés, que l'on ne saurait la révoquer en doute. On voit donc que les phénomènes de phosphorescence peuvent servir à resserrer les liens existant entre tous les agents impondérables qui dérivent très-probablement d'une seule et même cause diversement modifiée.

CHAPITRE V.

De la lumière des astres en général et des lumières météoriques.

Outre les lumières dont nous venons de faire connaître l'origine, nous avons encore à traiter de la lumière solaire réfléchie, réfractée ou polarisée; de la lumière stellaire, des effets électriques de l'atmosphère, d'autres lumières enfin dont la cause est inconnue. Nous devons analyser la composition de ces diverses lumières, afin de reconnaître quelle peut être leur origine. Nous ne parlerons qu'ultérieurement du mirage, de l'arc-en-ciel, des halos, des parhélies, des cercles parhéliques, des couronnes, des éclairs, pour ne nous en tenir qu'à la lumière solaire, à celle des étoiles simples et doubles, des comètes et des étoiles filantes, à la lumière des aréolithes à l'instant où ils éclatent et aux aurores boréales.

Les étoiles répandues par myriades dans les espaces célestes sont autant de soleils, qui, en raison de leur distance infiniment grande de la terre, ne nous apparaissent que comme des points lumineux ayant un éclat aussi varié qu'éblouissant.

Nous ne jugeons des effets de la lumière émanée des astres que lorsqu'elle a traversé les espaces célestes et notre atmosphère, et après y avoir, par conséquent, subi des modifications qui lui enlèvent une partie de ses propriétés originaires. Nous ignorons la nature des agents impondérables ou autres qui remplissent ces espaces et produisent ces modifications; mais il n'en est pas de même à l'égard de l'atmosphère, que l'on considère comme une masse d'air formant autour de la terre une couche sensiblement uniforme, traversée çà et là par des nuages, et éprouvant continuellement des déplacements qui en mêlent toutes les parties et sont autant de causes exerçant une influence sur quelques-uns des rayonnements qui accompagnent la lumière.

La masse aérienne composant l'atmosphère a une densité qui va en diminuant, à mesure que l'on s'élève au-dessus de la terre; la loi de ce décroissement est si rapide, qu'à une distance peu considérable de sa surface, il n'en reste plus que des traces à peine sensibles, d'où

l'on conclut que l'atmosphère est limitée, mais non d'une manière absolue.

Quand on veut étudier les effets de la lumière qui nous arrive des astres, il faut avoir nécessairement égard à l'action exercée par les couches d'air de densité différente traversées par les rayons lumineux, d'où résulte le phénomène de réfraction, en vertu duquel les objets ne sont pas vus à leur véritable place, mais plus relevés au-dessus de l'horizon. Cette réfraction est nulle au zénith, tandis qu'elle augmente sensiblement du zénith à l'horizon, suivant la tangente de la distance angulaire apparente de l'astre, pourvu toutefois que cette distance s'écarte peu de la distance moyenne zénithale; car, en approchant de l'horizon, la loi est plus compliquée. Il suit de là que la réfraction nous apporte la lumière du soleil, d'une étoile, avant que l'astre ne soit à l'horizon; le soleil nous éclaire encore, sous l'apparence de lumière diffuse, à la chute du jour, quand il est au-dessous. Si l'on y joint encore la réflexion de la lumière sur les molécules de l'air, sur celles des vapeurs et de tous les corpuscules qui y flottent sans cesse, et les effets de polarisation qui ont lieu dans toutes ces réfractions et ces réflexions, on aura toutes les causes qui concourent à la production de la lumière crépusculaire.

Outre les effets dont on vient de parler, l'atmosphère exerce encore sur la lumière solaire un pouvoir dispersif dont la cause principale est l'inégalité de température des diverses couches provenant de leur différence de densité, selon que le soleil les influence ou non, ce qui amène un mélange continuel de ces mêmes couches et des corpuscules qu'elles renferment. La réfraction astronomique produit encore d'autres effets physiques dont nous n'avons pas à nous occuper ici. Mais revenons aux effets lumineux, et, pour terminer ce qui concerne le soleil, faisons connaître les conjectures qui ont été mises en avant sur sa constitution physique. On a pour se guider dans ces conjectures les taches que l'on observe à sa surface. Ces taches, vues au télescope avec des verres colorés pour ne pas fatiguer la rétine, s'élargissent ou se resserrent d'un jour à l'autre, et disparaissent quelquefois entièrement pour reparaître dans d'autres parties. Cet état de choses indique nécessairement une mobilité extrême dans le fluide qui entoure le soleil et qu'on regarde comme son atmosphère. Ces taches, résultant d'une violente agitation d'un fluide gazeux, occupent quelquefois des espaces de 16000 lieues de diamètre. Les parties brillantes de cette atmosphère n'ont pas un éclat à beaucoup près uniforme, attendu qu'elles sont criblées d'une multitude de petits points obscurs changeant conti-

nuellement de forme et de position comme les taches elles-mêmes.

Ces faits nous portent à croire qu'il existe autour du soleil un fluide lumineux qui se mêle continuellement, et sans se confondre, avec une atmosphère transparente et non lumineuse, de manière à former des espèces de nuages. On observe encore sur la surface du soleil de larges espaces couverts de raies brillantes appelées *facules*, que l'on considère comme la crête de vagues immenses de la matière lumineuse soumise continuellement à une violente agitation.

Pour expliquer la nature des taches, les astronomes admettent assez généralement qu'elles représentent des portions de la masse même du soleil, qu'ils considèrent comme un corps solide et obscur enveloppé d'une atmosphère lumineuse, laquelle s'ouvre çà et là pendant les tempêtes qui l'agitent, de manière à laisser voir dans certaines parties le noyau. Voici, au reste, l'opinion de W. Herschel à cet égard :

Il suppose « que les couches lumineuses de l'atmosphère sont sou-« tenues fort au-dessus du noyau solide par un milieu élastique trans-« parent qui porte à sa surface supérieure une couche nuageuse, la-« quelle, vivement éclairée d'en haut, nous reflète une grande quan-« tité de lumière et produit une pénombre, tandis que le noyau solide « qui reçoit l'ombre des nuages n'en reflète pas. En outre, les déchi-« rements temporaires des deux couches, mais principalement de la « couche supérieure, sont produits par de puissants courants atmos-« phériques ou par des agitations locales. »

Telles sont les vues théoriques assez généralement adoptées sur les changements qui s'opèrent dans l'atmosphère solaire. Relativement à l'influence de cette atmosphère sur la lumière du soleil, nous dirons encore quelques mots. Les expériences de Bouguer tendent à démontrer que la lumière du disque du soleil est moins intense vers ses bords qu'à son centre, par exemple à une distance égale au quart du demi-diamètre; suivant lui, l'intensité de la lumière est plus petite qu'au centre dans le rapport de 35 à 48. Laplace a trouvé que cette différence s'expliquait en admettant une atmosphère autour du soleil; et que si cette atmosphère n'existait pas, le soleil nous paraîtrait 12 fois plus lumineux qu'il n'est réellement.

Une autre question a dû suivre la précédente, c'est celle relative à la température propre de la surface du soleil, comparée aux températures produites par nos sources artificielles. W. Herschel admet qu'elle est beaucoup plus élevée que celle que nous pouvons produire. Voici les considérations sur lesquelles il appuie son opinion :

L'intensité de la lumière diminuant en raison inverse du carré

de la distance, la chaleur solaire reçue sur une surface donnée à la distance où se trouve la terre, est à la chaleur que la même surface recevrait si elle se trouvait appliquée sur la superficie visible du soleil, dans le même rapport que l'aire occupée par le disque apparent de cet astre sur la sphère céleste à l'hémisphère entier, c'est-à-dire sensiblement dans le rapport de 1 à 300000. C'est à l'aide d'une chaleur moins intense, suivant lui, telle que celle obtenue en concentrant les rayons solaires au foyer d'une lentille, que l'on parvient à volatiliser les métaux les plus réfractaires, tels que le platine.

Autre considération qui vient à l'appui de cette supposition. Les flammes les plus vives et les corps solides dans l'état de la plus grande ignition, ne semblent être que des taches noires sur le soleil quand on les interpose entre son disque et l'œil. L'exemple le plus frappant est celui d'une boule de chaux en ignition, placée dans la flamme de la lampe à courant d'hydrogène et d'oxygène, et dont l'œil ne peut supporter longtemps l'éclat, et cependant la lumière émise, quoique imitant assez parfaitement la lumière du soleil, paraît sombre quand on la compare à celle-ci. Les effets résultant de la comparaison d'une lumière extrêmement vive, placée en regard d'une autre beaucoup moindre, et qui paraît sombre ou obscure suivant son intensité, portent à croire qu'il pourrait bien se faire que le corps même du soleil, qui nous paraît obscur, en admettant toutefois pour les taches l'origine que nous leur donnons, fût lui-même dans un état d'ignition très-intense; car, par opposition, il paraîtrait obscur relativement à l'atmosphère brillante qui l'entoure.

Lors même que les choses se passeraient comme nous venons de le dire (car ne perdons pas de vue que nous sommes toujours dans le domaine des conjectures), il resterait encore à expliquer l'origine de la matière lumineuse et calorifique, qui est une des parties de l'atmosphère solaire. Si nous en jugeons par ce qui se passe sous nos yeux, nous ne voyons que trois causes auxquelles on pourrait rapporter son origine : la combustion, le frottement et l'électricité. Si aucune de ces causes ne peut être invoquée, il faudrait admettre l'existence d'une matière fluide gazeuze, phosphorique et calorifique en même temps, et dont nous n'avons nul exemple, attendu que les matières phosphoriques observées jusqu'ici sont dépourvues en général de températures propres. L'idée de combustion a été écartée par la raison que la masse du soleil n'a point éprouvé le moindre changement depuis que l'on observe avec une certaine exactitude. On ne peut savoir jusqu'à quel point le frottement interviendrait pour pro-

duire les effets lumineux et calorifiques. Quant à l'électricité, des faits nombreux nous prouvent que lorsque cet agent est en mouvement, il produit les plus grands effets de chaleur et d'incandescence, pourvu toutefois que ce mouvement se produise dans un milieu où il y ait de la matière pondérable. Si telle était la cause de la lumière solaire, il faudrait admettre que des courants électriques circulent sans interruption dans l'atmosphère du soleil. Rien ne s'oppose à une semblable supposition, quand on sait que partout où il y a de la matière, il y a de l'électricité mise en mouvement toutes les fois que l'équilibre moléculaire est rompu; il pourrait très-bien exister dans l'atmosphère du soleil des moyens à nous inconnus à l'aide desquels il se produit des courants électriques. Nous avons rapporté les conjectures les plus plausibles faites jusqu'ici pour remonter à la cause de la lumière solaire. Passons à la lumière des planètes, en commençant par celle de la lune.

La lumière qui nous arrive de cette planète est réfléchie, comme l'indiquent les phénomènes de polarisation et sa constitution physique. En effet, on reconnaît, à l'aide du télescope, que la surface de la lune est sillonnée de montagnes et de vallées; les premières projettent des ombres dont la longueur se rapporte exactement à l'inclinaison des rayons solaires dans les lieux où ces inégalités s'observent. Il est prouvé par là que la lumière de la lune n'est qu'une lumière d'emprunt, une lumière qu'elle reçoit du soleil et qu'elle nous réfléchit. D'un autre côté, elle n'a pas d'atmosphère, et par conséquent de nuages lumineux; car, s'il en était ainsi, on s'en apercevrait dans les occultations des étoiles et dans les éclipses de soleil. D'après cela, la lune doit passer brusquement d'une chaleur plus forte que celle du midi de nos régions équatoriales et soutenue pendant quinze jours, à un froid de même durée plus excessif. Examinons la lumière des autres planètes.

Quand on étudie la lumière de Vénus, on est frappé du grand éclat de la partie éclairée de cette planète, produisant des scintillations de lumière qui portent une perturbation dans les observations. Cette planète, comme Saturne, a des taches rarement permanentes, qui, suivant M. Herschel, sont la conséquence d'atmosphères chargées sans doute de nuages destinés à tempérer l'éclat du soleil dont ils reçoivent la lumière.

Mars présente un autre aspect: on y distingue des contours que l'on regarde comme les limites des continents et des mers. Les continents ou portions regardées comme telles émettent une lumière de couleur rouge, qui est en général un caractère distinctif de la lumière toujours

rutilante de cette planète. On a supposé que cette couleur était due à la nature ocreuse du sol; la portion que l'on a comparée aux mers, émet au contraire une lumière verdâtre. Enfin, des deux lumières colorées qui nous viennent de cette planète, l'une rouge, l'autre verte, on en a conclu que les surfaces qui les réfléchissent sont de nature différente. Mais spécifier cette nature, c'est peut-être se jeter dans des conjectures un peu hasardées.

Jupiter, la plus magnifique des planètes en raison de son volume, qui est à peu près 1300 fois plus considérable que celui de la terre, de ses satellites et de son éclat, nous présente son disque comme coupé dans une certaine direction par des bandes ou zones obscures, variables de position et de grandeur, mais non de direction. Les astronomes sont disposés à admettre que ces bandes subsistent dans l'atmosphère de la planète, et qu'elles correspondent à des tranches plus transparentes de cette atmosphère, formées par des courants analogues à nos vents alizés, mais beaucoup plus impétueux et mieux marqués.

Saturne est également recouvert de bandes obscures semblables jusqu'à un certain point à celles de Jupiter, mais plus larges et moins bien marquées. Telles sont les différences que présentent plusieurs des planètes dans les effets de la lumière qu'elles reçoivent du soleil.

De la lumière des comètes.

Avant de sortir du système solaire, nous devons parler des comètes sous le rapport de leur effet lumineux. La plupart de ces astres consistent dans une masse de lumière large et éclatante, mal terminée, laquelle présente une tête et une queue. A la tête se trouve ordinairement un centre ou noyau beaucoup plus brillant, semblable à une étoile ou à une planète. A partir de la tête et dans une direction opposée à celle du soleil, divergent deux traînées lumineuses qui vont en s'élargissant; ces deux traînées se réunissent quelquefois à une petite distance de la tête; elles offrent en général l'apparence de brillants météores ou de fusées volantes, mais non accompagnées d'étincelles, ni de mouvements intérieurs ou superficiels perceptibles. Telle est la queue d'une comète. Cette queue n'est pas toujours simple; il y a des comètes qui en ont deux, d'autres trois; celle de 1744 en avait six; d'autres enfin, qui en sont entièrement dépourvues. Elles atteignent quelquefois une longueur apparente immense. Souvent elles sont courbées dans la région qu'elles quittent, comme si la queue avait un mouvement un peu plus lent que sa tête et éprouvât de la résistance dans sa course.

On considère les cometes comme un grand amas de vapeurs subtiles, se laissant traverser par les rayons solaires et pouvant les réfléchir de toutes parts. Dans quelques-unes, on a aperçu une espèce d'étoile extrêmement petite, annonçant la présence d'un corps solide ou de noyau.

On attribue avec raison le grand développement des atmosphères des comètes à la très-faible résistance qu'oppose l'attraction exercée par une masse aussi petite et l'élasticité des parties gazeuses.

Nous avons dit précédemment que la queue des comètes avait quelquefois des longueurs considérables. En effet, Newton a trouvé que la queue de la grande comète de 1680, après son passage au périhélie, avait au moins 20 millions de lieues de longueur, et qu'elle n'avait mis que deux jours à émaner du corps de la comète. Quelle force de projection, dont le siége devait se trouver dans le soleil, à en juger d'après la direction même de la queue, qui, dans sa plus grande longueur, avait 41 millions de lieues! Celle de 1843 avait 61 millions de lieues de longueur et un million de lieues de largeur. On s'étonne avec raison qu'une matière gazeuse et lumineuse si légère, répandue à des distances aussi immenses, puisse être retenue par l'attraction du faible corps de la comète, et en vertu de laquelle cette matière devient si rare en s'éloignant du noyau. On se demande depuis longtemps si les comètes sont lumineuses par elles-mêmes, ou bien si, de même que les planètes, elles réfléchissent seulement les rayons solaires. Cette question intéresse également l'astronomie et la physique appliquée, en raison des principes que la première peut invoquer à la seconde pour la résoudre. Diverses hypothèses ont été émises pour remonter à l'origine de la lumière qui accompagne les comètes. Nous ne les discuterons pas ici; nous nous bornerons seulement à indiquer les observations faites pour savoir si cette lumière était directe ou réfléchie en s'aidant des propriétés de la lumière polarisée comme l'a fait M. Arago pour résoudre cette question.

On sait que lorsque la lumière est réfléchie sur des surfaces de nature quelconque, sous certains angles, elle acquiert des propriétés qui la distinguent de la lumière directe. Or, dans la lumière de la queue de la comète, on a reconnu des traces de lumière polarisée, ce qui annoncerait qu'elle est réfléchie et non directe.

M. Arago a fait ses observations sur la lumière de la comète de Halley, qui parut en 1835. Les nébulosités de cet astre ayant éprouvé brusquement des transformations inattendues et bizarres, il lui fut impossible de mettre en usage une méthode dont nous n'avons pas à

nous occuper ici, et qui avait pour but d'évaluer l'intensité de cette lumière au moyen d'observations photométriques. Il eut donc recours aux propriétés de la lumière polarisée, à l'aide desquelles il reconnut que la lumière de cette comète n'était pas, en totalité du moins, composée de rayons doués de propriétés appartenant à la lumière directe, et qu'il s'y trouvait par conséquent de la lumière réfléchie spéculairement ou déjà polarisée, c'est-à-dire venant du soleil.

De la lumière des étoiles.

Considérées comme corps lumineux, sources de lumière indépendantes du soleil, puisqu'elles sont lumineuses par elles-mêmes, les étoiles doivent fixer notre attention. Elles sont situées à une immense distance de nous, qui n'est pas au-dessous de 6720000000000 de lieues. Or, comme la vitesse de la lumière est de 70000 lieues par seconde, la lumière des étoiles doit employer plus de 96000000″ pour arriver jusqu'à nous, c'est-à-dire plus de trois ans. Quant aux étoiles télescopiques, dont la foule est innombrable, les astronomes pensent qu'il y en a dont, en raison de leur distance, la lumière doit mettre 1000 ans pour nous parvenir.

La cause de leur lumière est inconnue; nous savons seulement que les étoiles constituent autant de soleils. Pour les reconnaître et en faciliter l'étude, on les classe d'après leur éclat apparent, et le rang qu'on leur assigne ainsi sert à les désigner sous la dénomination de première, de deuxième grandeur, etc.

Les étoiles les plus brillantes sont dites de première grandeur, celles qui le sont un peu moins de deuxième grandeur, ainsi de suite, jusqu'aux étoiles de sixième ou septième grandeur, qui sont les plus petites que l'on puisse apercevoir à l'œil nu. A l'aide du télescope, on porte la classification des étoiles jusqu'à la seizième grandeur. Il n'y a pas de ligne de démarcation entre une étoile et une autre, attendu qu'on n'a que des méthodes approximatives pour déterminer les proportions relatives de lumière émise par les étoiles appartenant à la même classe. Voici cependant les déterminations faites par W. Herschel sur les étoiles des six premières grandeurs.

Lumière d'une étoile moyenne de 1re grandeur	100
2	25
3	10
4	6
5	2
6	1

Indépendamment des étoiles de diverses grandeurs vues au télescope ou à l'œil nu, il existe encore des amas d'étoiles appelées nébuleuses, en raison de l'aspect sous lequel elles se présentent à nous. W. Herschel, qui en a fait une analyse aussi complète que possible, les a classées ainsi qu'il suit. Nous suivrons cet ordre pour l'intelligence de ce que nous avons à dire.

1° Amas d'étoiles où chacune peut être nettement distinguée;

2° Nébuleuse résoluble, que l'on suppose formée d'un agglomérat d'étoiles;

3° Nébuleuses proprement dites, sans apparence que la nébulosité puisse se résoudre en étoiles. On y comprend les nébuleuses planétaires et stellaires.

Les nébuleuses de la deuxième classe sont très-probablement formées d'un amas d'étoiles qui, en raison de leur grand éloignement de nous ou de leur faible éclat, ne peuvent être distinguées, de sorte qu'elles se présentent à nous comme une masse lumineuse. Sans entrer dans de grands détails sur les nébuleuses (ce qui n'est pas de notre ressort), nous donnerons cependant quelques généralités utiles au sujet que nous traitons.

Les nébuleuses proprement dites se présentent sous une infinité de formes, sous une grande variété d'aspects. Les plus remarquables sont représentées fig. 13 et 14, pl. IX. La première, découverte par Huyghens en 1656, entoure l'étoile quadruple ou plutôt sextuple dans la constellation d'Orion; l'autre, découverte par Lacaille près de l'étoile η dans la constellation australe, le chêne de Charles. L'aspect de ces objets, surtout du premier, est tres-différent de celui qui devrait résulter de l'agrégation d'une multitude innombrable de petites étoiles. Le premier consiste en petites masses ou flocons nébuleux qui semblent adhérer vers leurs bords à une foule de petites étoiles, et notamment à une étoile considérable qu'on voit au bas de la nébuleuse dans la figure, laquelle est entourée d'une atmosphère nébuleuse, remarquable par son étendue et par la singularité de sa figure. La fig. 15, pl. IX, représente une nébuleuse située dans la constellation d'Andromède, près de l'étoile ν, visible à l'œil nu. Simon Marius, qui l'a signalée en 1612, la compare avec assez de justesse à une chandelle vue à travers de la corne. Sa forme est celle d'un long ovale dont l'éclat va en croissant depuis les bords, en premier lieu par degrés insensibles, puis avec beaucoup plus de rapidité jusqu'à un point central, qui ne peut être pris évidemment pour une étoile, quoique beaucoup plus brillant que le reste, mais seulement pour une nébuleuse à

un grand degré de condensation. Cette nébuleuse est le type d'une classe très-nombreuse de nébuleuses. On distingue encore des nébuleuses annulaires et planétaires ; ces dernières sont des objets très-étranges qui ressemblent beaucoup aux planètes. Leur lumière est parfaitement uniforme ou très-peu nuancée, et approche de l'éclat de celle des planètes. Ces objets atteignent quelquefois des dimensions énormes. L'uniformité de leur disque et le défaut de condensation centrale apparente doit nous faire augurer que leur lumière est purement superficielle. Parmi ces nébuleuses, nous en citerons dont le diamètre apparent est d'environ 20″, et qui se voient sur le parallèle ν du verseau.

Quelque conjecture que l'on fasse sur les nébuleuses, on ne saurait douter qu'elles ne soient formées par une agglomération d'étoiles; peut-être aussi sont-elles une matière lumineuse et phosphorescente disséminée dans l'immensité de l'espace, comme un nuage ou un brouillard, tantôt revêtant des formes capricieuses comme les nuages chassés par les vents, tantôt se concentrant autour de certaines étoiles, à la manière des atmosphères des comètes. Mais quelle est la destination de cette matière nébuleuse? Sert-elle, en se condensant, à fonder de nouveaux systèmes stellaires ou des étoiles isolées?

Outre les étoiles fixes, il existe certaines étoiles qui, sans se distinguer des autres par un déplacement apparent ni par une différence d'aspect, sont sujettes à des accroissements périodiques d'éclat, qui, dans un ou deux cas, sont l'extinction et la revivification complète. Ce sont les étoiles périodiques. L'une des plus remarquables est l'étoile o de la Baleine. Sa période est de 334 jours, et la planète conserve son plus grand éclat environ 15 jours, et paraît alors quelquefois comme une belle étoile de seconde grandeur. Elle décroît ensuite pendant 3 mois environ jusqu'à ce qu'elle devienne complétement invisible pendant à peu près cinq mois ; après quoi son éclat va en croissant pendant les trois autres mois de la période. On est porté à croire qu'un corps opaque circule autour de l'étoile et vient s'interposer entre elle et nous. Il y a des étoiles qui, après leur périodicité, ont cessé de paraître; entre autres, l'étoile o de la Baleine, pendant quatre ans. Des étoiles temporaires ont apparu à plusieurs époques avec un éclat extraordinaire, dans diverses régions du ciel, et après avoir eu tous les caractères de fixité des étoiles, ont disparu sans laisser de traces; telle est l'étoile dont l'apparition soudaine, 125 ans avant J. C., fixa l'attention d'Hipparque. On pourrait en citer encore un grand nombre. Mais nous nous bornerons à celle de 1572 que Tycho-

Brahé a décrite; elle était alors aussi brillante que Sirius; elle continua de briller, au point de surpasser Jupiter et d'être visible en plein midi; elle parut le 11 novembre, et décrut en décembre de la même année; au mois de mars 1574 elle était entièrement disparue.

De la lumière zodiacale.

Il existe un phénomène qui semble indiquer que le soleil est entouré lui-même d'une certaine nébulosité : c'est la lumière zodiacale que l'on aperçoit dans les beaux temps aussitôt après le coucher du soleil, vers les mois d'avril et de mai, ou avant le lever du soleil dans la saison opposée, en forme de cône ou de lentille dont la direction est en général celle de l'écliptique, ou mieux celle de l'équateur solaire. Cette lumière est extrêmement faible, au moins dans nos climats, mais on la voit mieux dans les régions intertropicales, où elle ne peut être confondue avec une aurore boréale. Elle s'annonce évidemment comme une atmosphère rare et de forme lenticulaire qui entoure le soleil et s'étend au delà des orbites de Mercure et même de Vénus.

De la lumière des étoiles doubles.

Jusqu'ici il n'a été question que de rayons lumineux qui, après avoir été réfractés dans un prisme, donnaient un spectre composé d'un certain nombre de couleurs. Ces rayons provenaient ou du soleil ou des étoiles. Il s'agit de voir s'il n'existerait pas des astres émettant seulement quelques-unes des couleurs du spectre, et même une seule. Les étoiles doubles vont nous donner des exemples de ce genre.

On appelle ainsi des étoiles qui se résolvent en deux et quelquefois en trois autres très-rapprochées; elles obéissent à la même loi dynamique qui régit notre système. Nous citerons pour exemple la belle étoile Castor, fortement grossie et formée de deux étoiles entre la troisième et la quatrième grandeur, distantes l'une de l'autre de 5″. M. W. Herschel en avait compté plus de 500, éloignées l'une de l'autre de moins d'une 1/2 minute; le professeur Struve, de Dorpat, en a quintuplé, et d'autres observateurs en ont presque centuplé le nombre.

La lumière des étoiles doubles présente des combinaisons binaires de rouge et de bleu verdâtre, de jaune et de bleu. La teinte bleue ou verte de la petite étoile est-elle due ou non à un effet de contraste? C'est une question que M. Arago a résolue de la manière suivante.

On sait qu'une faible lumière blanche paraît verte à l'égard d'une forte couleur rouge, et passe au bleu quand la lumière vive environnante est jaunâtre. On observe précisément un effet de ce genre entre la partie brillante et la partie faible des étoiles doubles, ce qui tendrait à faire croire que la cause est la même. Il y a cependant des exceptions, car une petite étoile bleue accompagne souvent une grande étoile blanche sans apparence de couleur rouge, et dans ce cas on ne peut supposer des effets de contraste. La couleur bleue ne pouvant provenir d'une illusion, doit être réellement celle de la lumière de certaines étoiles. Pour vérifier ce fait, il suffit de cacher l'étoile par un diaphragme dans la lunette, afin de juger de la couleur de l'astre, indépendamment de celle de l'autre. En opérant ainsi, M. Arago a reconnu que l'occultation de la grande étoile n'amenait la disparition de toute couleur dans la seconde que dans quelques cas; c'est par ce moyen qu'il a été démontré qu'il existe un grand nombre d'étoiles doubles, émettant, les unes, une couleur bleue, les autres, une couleur verte.

L'existence des étoiles colorées avait été signalée déjà en 1686 par Mariotte, qui, dans son traité des couleurs, avait annoncé qu'il existait des étoiles jaunes et bleues. M. Dunlop, en 1828, avait annoncé également dans son catalogue, que dans l'hémisphère austral il existait un groupe composé d'étoiles de teinte bleuâtre. Il est donc bien prouvé aujourd'hui qu'il y a des étoiles qui ne nous envoient de la lumière que d'une seule couleur et d'autres de la lumière composée de plusieurs couleurs. Mais d'où peuvent provenir ces couleurs uniques, ou bien ce petit nombre de couleurs émanées de quelques astres? Doit-on les considérer comme le résultat de la décomposition d'une lumière analogue à celle du soleil, à travers les milieux qu'elle a pu traverser, la couleur complémentaire ou seulement une portion ayant été absorbée par ces milieux? ou bien sont-elles dues à des soleils qui s'éteignent; ou bien à un état de combustion de l'étoile, semblable à celui de certains corps qui brûlent, en n'émettant qu'un petit nombre de couleurs, et même une seule, comme nous en avons donné plusieurs exemples? Ne pouvant qu'avancer des opinions plus ou moins hasardées à cet égard, nous n'en dirons pas davantage sur la couleur des étoiles multiples.

De l'aurore boréale.

L'aurore boréale est un phénomène lumineux qui apparaît quel-

quefois après le coucher du soleil vers le nord, rarement vers le couchant, et plus rarement encore vers le midi : tantôt il se présente près de l'horizon, comme une lueur vague ressemblant à celle de l'aurore qui précède le lever du soleil; d'autres fois, sous la forme d'une nuée sombre, d'où partent des fusées lumineuses quelquefois diversement colorées, et qui éclairent alors toute l'atmosphère. Telles sont les apparences principales qu'on observe dans ce météore qui prend diverses formes; son apparition est toujours accompagnée d'un dérangement dans la marche des variations diurnes de l'aiguille aimantée, non-seulement dans les lieux où l'aurore boréale est visible, mais encore dans les contrées qui en sont éloignées. On peut consulter à cet égard ce que nous avons dit des propriétés physiques des aurores boréales, *Traité d'électricité et de magnétisme*, tom. VI, pag. 200. On y trouvera aussi la description des aurores boréales les plus remarquables observées. Nous ne devons parler ici que de la lumière météorique, en faisant connaître les causes probables de sa production.

Nous n'entrerons pas dans la discussion des diverses théories imaginées pour expliquer les aurores boréales, attendu que cette discussion se trouve dans l'ouvrage cité, mais nous ferons connaître celles qui reposent sur les faits les mieux constatés.

On sait depuis longtemps que l'électricité qui passe dans le vide, s'y montre sous les mêmes apparences lumineuses que celles de l'aurore boréale. Or, l'air devenant moins dense à mesure qu'il s'élève au-dessus de la surface de la terre, si l'aurore est due à des décharges électriques ayant lieu dans des régions supérieures, ces décharges doivent présenter les mêmes apparences que dans les tubes remplis d'air plus ou moins raréfié. Telles sont les idées émises par un grand nombre de physiciens, parmi lesquels nous citerons Canton, Beccaria, Franklin, idées que nous adoptons encore aujourd'hui, depuis que nous savons que l'apparition de ce météore exerce une action sur l'aiguille aimantée, laquelle a été observée pour la première fois en 1740; mais comme on ignorait à cette époque l'identité entre l'électricité et le magnétisme, cette découverte ne pouvait pas servir d'argument en faveur de l'origine électrique des aurores. On n'a pu le faire réellement qu'après qu'Œrsted eut découvert l'électro-magnétisme.

Il ne suffisait pas de trouver une identité entre la lumière électrique et celle des aurores, il fallait encore démontrer l'existence d'une quantité suffisante d'électricité dans l'atmosphère; or, on sait

aujourd'hui que cette électricité y est souvent dans des proportions énormes. L'origine électrique des aurores est donc réellement celle qui paraît aujourd'hui la plus probable.

Tous les faits observés montrent bien que les colonnes de l'aurore boréale obéissent à l'action du magnétisme terrestre, et doivent par conséquent être considérées comme analogues à ces jets lumineux que l'on produit entre deux pointes de charbon quand on fait passer entre elles la décharge d'une forte batterie voltaïque, jets qui se comportent en présence d'un barreau aimanté comme pourrait le faire une portion de circuit mobile parcourue par un courant électrique. Tout tend donc à prouver que les rayons lumineux de l'aurore boréale sont des traînées de matières gazeuses susceptibles de prendre toutes les formes, et ayant de l'analogie avec la lumière électrique. Quelle est la nature de cette matière gazeuse? Comment sont produits ces courants? Ce sont des questions auxquelles l'état actuel de la science ne permet pas de répondre, sans se jeter dans des hypothèses plus ou moins vagues. Il y a tant de moyens de mettre en mouvement l'électricité dans les corps conducteurs qu'il est impossible de définir celui que la nature emploie. Comme on sait aujourd'hui que l'on peut faire naître des courants dans les corps, en troublant l'équilibre de leurs particules ou en les changeant de place, il peut bien exister dans l'atmosphère des causes quelconques, dont nous ignorons la nature et l'origine, qui mettent en mouvement le principe électrique qui s'y trouve. Ces courants, en outre, en circulant dans la matière gazeuse, peuvent bien enflammer les matières qui s'y trouvent répandues, et produire ces effets d'incendie observés dans les grandes aurores boréales. Pour de plus amples développements, nous renvoyons à notre ouvrage sur l'électricité et le magnétisme.

Des étoiles filantes.

Les étoiles filantes sont encore un phénomène très-obscur, quoique nous ayons des exemples qu'on les ait observées depuis longtemps. Les connaissances certaines acquises sur leur apparition ne datent que du dernier siècle. Jusque-là on n'avait que des notions peu exactes sur les hauteurs auxquelles ces météores se montrent ordinairement. Nous n'entrerons pas dans l'examen historique des travaux qui ont été faits depuis 1800; seulement nous donnerons les conséquences générales que l'on a tirées des observations.

M. Brandès reconnut que les étoiles filantes avaient une tendance

à se diriger vers le sud-ouest, tendance due à une combinaison de leur mouvement avec celui de la terre dans son orbite, d'où l'on conjectura que ces météores devaient avoir une origine cosmique. Ce n'est que lors de l'apparition du magnifique spectacle dont on fut témoin dans la nuit du 11 au 12 novembre 1832, que l'on se rappela un phénomène non moins extraordinaire observé par M. de Humboldt dans la nuit du 11 au 12 novembre 1799. On fut porté à admettre, comme l'a remarqué M. Arago, l'existence d'une zone composée de millions de petits corps, dont les orbites rencontrent le plan de l'écliptique vers le point que la terre va occuper tous les ans du 11 au 13 novembre.

Il résulte de déterminations faites par M. Quetelet, que la valeur moyenne pour la vitesse des étoiles filantes est à peu près par seconde de six lieues, tandis que la détermination faite par M. Brandès est de dix lieues. M. Quetelet a cherché à rapprocher les apparitions les plus remarquables des étoiles filantes observées jusqu'ici, avec le phénomène de la chute des pierres météoriques dans le même mois. L'examen qu'il en a fait l'a conduit à reconnaître également une périodicité dans la chute des aérolithes; il en est de même des aurores boréales assujetties à des retours périodiques et dont les apparitions coïncident avec celles des étoiles filantes. En 1838, J. Herschel observa effectivement une brillante aurore boréale le 12 novembre, au lieu de l'apparition extraordinaire d'étoiles filantes qu'il attendait, et qui ne fut aperçue que le lendemain. En 1830, les apparitions d'étoiles filantes des 7 et 12 novembre furent également accompagnées d'auroles boréales. Benzenberg, en 1833, a reconnu, et calculé, pour les 11 et 13 septembre, 6, 9, 14 octobre, et 4 novembre 1798, 135 étoiles filantes dans l'espace de 22 heures 21′, c'est-à-dire de 6 environ par heure, tandis que M. Brandès, dans une station voisine, en a compté 267 en 27 heures 53′, ou environ 10 par heure. Le terme moyen est donc de 8 par heure, comme Benzenberg l'a trouvé également. M. Quetelet, qui s'est occupé de la même question, a été conduit à ce résultat, qu'un observateur isolé ou plusieurs observateurs dirigés vers une même région du ciel, peuvent voir, terme moyen, huit étoiles filantes par heure, et que plusieurs observateurs, placés de manière à voir les différentes régions du ciel, peuvent en compter un nombre double.

Le docteur Holbers pense que le nombre de huit étoiles ne peut s'appliquer que dans les observations faites du mois d'août au mois de décembre. Suivant lui, le nombre moyen pour toute l'année ne serait que les deux tiers du nombre donné par M. Quetelet, et, suivant

M. Herschel, seize étoiles filantes par heure pour un seul observateur serait un nombre au-dessus de la moyenne.

D'après les calculs de M. Herrick, le nombre donné par M. Quetelet serait trop faible, contrairement à l'opinion d'Holbers et de Benzenberg; tout ce que l'on en pourrait conclure, c'est que les étoiles filantes se montrent en Amérique en nombre plus grand qu'en Europe. Au surplus, nous renvoyons pour la discussion relative à l'apparition des étoiles filantes, au Mémoire de M. Quetelet (*Mémoires de l'académie des sciences et belles-lettres de Bruxelles*, t. XII). Pour expliquer ces météores, M. Arago admet l'existence d'une zone composée de milliers de petits corps dont les orbites rencontrent le plan de l'écliptique vers le point que la terre va occuper tous les ans du 11 au 13 novembre. M. d'Olbers a donné plus d'extension à cette opinion. Suivant lui une immense quantité de corpuscules planétaires formant les étoiles filantes paraissent se mouvoir dans des orbites autour du soleil, et traversent celle de la terre entre 18 et 21 degrés du Taureau. Ces orbites, très-rapprochées et presque parallèles entre elles, forment pour ainsi dire une route commune pour des millions, des myriades de ces astéroïdes infiniment petits, et qui, en des temps à peu près égaux, dans un espace de cinq à six années peut-être, achèvent leur révolution autour du soleil. Sur cette route commune, ils paraissent encore très-inégalement répartis; ici, ils sont en masses épaisses; là, ils sont disséminés. Dans les années 1799 et 1833, peut-être aussi en 1832, l'une de ces masses aura été jetée dans notre atmosphère; durant les années 1831, 1834 et 1836, il est probable que notre globe n'a rencontré que des astéroïdes, étoiles filantes isolées, quoiqu'elles fussent en assez grande quantité. Il est à croire que ces astéroïdes sont composées de matières oxydables, qui s'échauffent puis s'enflamment quand elles sont dans notre atmosphère, et donnent lieu par là aux effets lumineux observés.

LIVRE V.

CHAPITRE PREMIER.

De la pesanteur.

Nous n'avons encore jusqu'ici traité que des propriétés générales des trois agents impondérables, l'électricité, la chaleur et la lumière, et nullement des phénomènes d'attraction qui dépendent de la pesanteur et des forces agissant à de petites distances.

L'attraction, prise dans l'acception que nous lui donnons ici, est cette action en vertu de laquelle deux corps ou leurs éléments se portent l'un vers l'autre, sans que l'on puisse savoir en quoi consiste son mode de transmission. Elle est donc le résultat d'une propriété inhérente aux molécules de la matière, de forces dont l'origine nous est inconnue. Dans l'étude des forces, on ne s'occupe nullement de rechercher les causes motrices, puisqu'elles échappent à nos investigations; le physicien doit donc s'en tenir aux lois régissant leur mode d'action, afin de pouvoir expliquer et même prévoir les phénomènes liés entre eux par un même rapport. Tout en suivant cette direction, on peut cependant se proposer d'examiner s'il y a autant de causes motrices que de forces, ou bien si plusieurs de ces dernières ne dériveraient pas d'une seule. On n'est pas plus avancé, à la vérité, sur la nature des causes premières; mais, en établissant leur dépendance mutuelle, on simplifie singulièrement leur étude. Telle est la marche que nous avons constamment suivie et que nous continuerons à suivre, pour voir jusqu'à quel point les fluides impondérables ont une origine commune et peuvent avoir des rapports avec les forces dont nous allons parler.

On distingue, en raison de leur mode d'action, deux espèces de forces attractives : la première, agissant à de grandes distances, la

pesanteur ; la seconde comprend les forces agissant à de petites distances, et auxquelles il faut rapporter toutes les actions moléculaires. Au moyen des lois du mouvement des corps célestes appartenant à notre système planétaire, on est conduit à considérer le centre du soleil comme le foyer d'une force attractive s'étendant indéfiniment dans l'espace et diminuant comme le carré de la distance. Les propriétés générales de cette force et qui servent à la caractériser nous sont révélées par les trois lois de Képler. En effet : 1° les aires tracées autour du soleil par les rayons vecteurs des planètes étant proportionnelles aux temps, la force est donc dirigée constamment vers le centre du soleil ;

2° La forme elliptique des orbes planétaires prouve que la force diminue comme le carré de la distance augmente ;

3° Les carrés des temps des révolutions étant proportionnels au cube des grands axes des orbites, la force attractive doit être la même à distance égale.

Cette puissance attractive exercée par le soleil sur les planètes, leurs satellites et les comètes, est la pesanteur ; c'est cette même puissance, exercée par la terre sur la lune, qui retient celle-ci dans son orbite ; elle agit non-seulement sur la surface des corps, mais encore sur leurs parties intérieures ; aussi est-elle proportionnelle aux masses ; c'est cette puissance, enfin, qui produit la chute des corps à la surface de la terre. L'action de la pesanteur est démontrée par la direction parabolique que suit en tombant un projectile lancé à une grande hauteur, si la vitesse de projection était de 7000 mètres par seconde et que la résistance de l'atmosphère fût nulle, il circulerait alors comme un satellite autour de la terre. Dans ce cas, la force centrifuge serait égale à la pesanteur, dont la diminution de l'intensité n'est sensible qu'à une certaine distance de la surface, car on n'aperçoit aucune différence entre son action à la surface et celle qu'elle exerce aux plus grandes hauteurs où l'homme soit parvenu. D'après les notions que nous venons de donner sur la pesanteur, on voit sur-le-champ que la vitesse imprimée à un corps qui tombe est indépendante de sa masse, attendu qu'elle doit être la même pour une molécule que pour le corps entier. S'il en est souvent autrement, cela tient à ce que l'air n'oppose pas la même résistance à tous les corps ; ceux qui ont le plus de poids sous le même volume, pouvant vaincre plus facilement la résistance de l'air, tombent plus rapidement que ceux qui ont moins de densité. La vitesse qu'un corps acquiert en tombant est mesurée par l'espace parcouru dans un temps donné. Le rapport entre l'espace et le temps représente la loi du mouvement du corps ; cette

lol a pour expression les deux formules suivantes, qui caractérisent une force accélératrice constante :

$$v = gt$$
$$e = \frac{gt^2}{2}.$$

g représente la vitesse dans l'unité de temps, valeur qni est évidemment le double de l'espace parcouru pendant le même temps. A Paris,

$$g = 9^{m},8088.$$

Ces formules nous montrent que les vitesses sont proportionnelles au temps, et que l'espace parcouru est proportionnel au carré du temps.

La direction de la pesanteur est naturellement celle que suit un corps dans sa chute; elle nous est donnée par le fil à plomb, et est perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles; dès lors elle varie avec la courbure de la terre; et si celle-ci était parfaitement sphérique, il est bien évident que toutes les directions tendraient vers son centre. Le corps, à part la résistance que lui oppose l'air, exige une certaine force en sens inverse de la direction de la pesanteur pour ne pas tomber; l'effort de cette force est mesuré par le poids. Le poids d'un corps est donc la résultante des efforts partiels de la terre sur tous les points de ce corps, résultante qui passe par le centre de gravité. Nous ne nous étendrons pas davantage sur la pesanteur en ce qui concerne principalement sa variation sur les différents points du globe, attendu que nous en avons traité dans l'introduction. Nous terminerons ce que nous en avons à dire en rapportant avec quelques détails l'expérience de Cavendish pour connaître la densité de la terre, comparée à celle d'un corps quelconque, de l'eau par exemple, expérience qui met en évidence le pouvoir attractif des masses à distance, lequel n'est autre que la pesanteur. Voici le principe sur lequel repose cette célèbre expérience. Supposons que l'on présente à un fil à plomb une sphère de métal d'un rayon de 3 à 4 mètres, il est bien évident que l'attraction qu'elle exercera dessus sera si faible, qu'elle ne pourra pas être observée, puisque des masses beaucoup plus considérables, telles qu'une montagne, ne le dévient que de quelques secondes; mais si, au lieu d'un fil à plomb, on se sert d'un levier horizontal parfaitement équilibré et très-mobile, et qu'on présente à l'une de ses extrémités terminée en boule une sphère métallique, celle-ci tendra à

le faire tourner, sans qu'on ait à craindre que cette action soit contrariée par la pesanteur, comme avec le fil à plomb. On peut doubler l'effet en fixant une boule à l'autre extrémité, et plaçant à peu de distance une autre sphère semblable à la première, de telle sorte que chacune d'elles soit située l'une d'un côté, l'autre de l'autre. En prenant des sphères de métal suffisamment grosses et donnant beaucoup de mobilité au levier, on conçoit qu'on puisse arriver à rendre sensible l'action qu'elles exercent sur ses deux extrémités. Passons à la description de l'appareil qui est représenté, pl. IX, fig. 16 et 17, en projections horizontales et verticales : S et S′ sont les sphères de métal, *a b c d* la section de la caisse qui renferme le levier mobile, lequel doit être soustrait aux agitations de l'air ; *s*, *s′* sont les deux petites balles suspendues à ses deux extrémités. Dans la coupe verticale, fig. 17, les mêmes lettres représentent les mêmes choses. Ces deux balles sont suspendues par un fil d'argent qui traverse les extrémités du levier, lequel fil vient aboutir en *n* au fil vertical *f f′* ; ce fil, outre qu'il doit être assez fort pour porter le système de leviers, doit avoir encore une force de torsion suffisante pour mesurer la force cherchée. Cette force de torsion, en effet, agit en sens inverse de la force d'attraction. Les sphères S, S′, suspendues à une tige de fer, peuvent tourner facilement autour de la caisse, de manière à prendre diverses positions et à être écartées plus ou moins des petites balles *s*, *s′*. Le système des deux sphères a un axe de rotation situé dans la même direction que le fil *f f′*. Les sphères doivent être pleines pour que leur action soit plus considérable, puisqu'elles agissent en raison directe des masses.

Cavendish, pour se mettre à l'abri de toute cause perturbatrice, avait placé son appareil dans une chambre sans porte et sans fenêtre, et éclairée par une ouverture au moyen d'une lampe F placée en dehors de la chambre, afin que la température de celle-ci n'éprouvât aucune variation. Une lunette *l*, *l′* est destinée à observer les effets de l'attraction. Pour commencer les expériences, on place les sphères S, S′ dans la position perpendiculaire au levier mobile, et on les fait tourner de manière à les mettre dans la position indiquée fig. 17, pl. IX, où les petites balles commencent à être attirées par les sphères, et alors elles commencent à osciller. Cet effet ne peut être attribué qu'à l'action exercée par les deux matières l'une sur l'autre. On peut admettre dès lors que la tendance qui porte les petites boules sur les sphères est la même que celle en vertu de laquelle un corps qui n'est pas retenu tombe sur la terre, c'est-à-dire que la force est

la même que la pesanteur; bien entendu que dans les deux cas les effets sont proportionnels aux masses.

Pour mesurer les effets de l'attraction des sphères sur les boules, il faut connaître trois éléments : la durée des oscillations des petites balles, la longueur du levier, et leur distance au centre des grandes sphères où l'on peut supposer que toute la masse est concentrée, car les actions attractives exercées par les sphères sont les mêmes que si cette concentration avait lieu. On n'a plus ensuite, en se servant de la formule du pendule, qu'à corriger les résultats des effets de la torsion du fil.

Nous allons indiquer la manière d'opérer. Supposons le fléau en repos et sa position observée, on fait mouvoir les poids; non-seulement le fléau est alors attiré de côté, mais encore il se met à osciller pendant un temps considérable; de sorte que, pour déterminer la quantité dont il s'est écarté de sa première position, il faut observer les points extrêmes des oscillations, afin de déterminer la distance à laquelle il s'arrêterait si le mouvement cessait. Pour cela, Cavendish observait trois points extrêmes successifs d'une oscillation, puis il considérait le milieu entre le premier et le troisième de ces points comme étant le point extrême d'oscillation dans une direction, et il prenait ensuite comme point de repos le milieu entre cet extrême et le second extrême, par la raison que les oscillations allant en diminuant, le milieu entre deux points extrêmes ne pouvait donner la vraie position du corps. Pour déterminer la durée d'oscillation, il observait les deux points extrêmes d'une oscillation et les temps où le fléau arrivait à deux divisions données entre ces extrêmes, et calculait ensuite le point milieu de l'oscillation, et trouvait, au moyen d'une proportion, le temps où le fléau arrive à ce point milieu. Cette opération, répétée un certain nombre de fois, il divisait l'intervalle de temps entre les arrivées du fléau aux deux points milieux déterminés par le nombre des oscillations, ce qui donne la durée d'une oscillation.

Pour savoir jusqu'à quel point cette méthode est exacte, Cavendish a cherché de quelle manière l'oscillation était affectée par la résistance de l'air et le déplacement du point de repos. Il paraît résulter du calcul, qu'en raison de la résistance de l'air, le temps où le fléau arrive au point milieu de l'oscillation n'est pas exactement le milieu entre les temps de ses arrivées aux points extrêmes, ce qui est une cause d'inexactitude dans la méthode à l'aide de laquelle on trouve la durée d'une oscillation. Cependant, comme le temps de l'arrivée au point milieu précède le milieu de l'oscillation, tant dans la première

que dans la dernière oscillation, l'erreur peut être négligée Nous allons donner l'exposé d'une autre des nombreuses expériences faites par Cavendish. Le fil auquel était suspendu le fléau était de cuivre argenté; il avait $0^m,997$ de long; son poids était, pour 305 millimètres, de 13,4 centigrammes; son élasticité était telle que la durée d'oscillation du fléau était de 15′ environ. Les poids de plomb étaient suspendus à des verges de fer. Dans la crainte qu'une aimantation de ces verges n'exerçât quelque influence, ces poids de plomb furent détachés, et on expérimenta avec des verges seulement. Le calcul indiqua que l'attraction exercée par ces verges sur les balles était à celle des poids dans le rapport de 17 à 2500. Or, comme dans une épreuve précédente on avait reconnu que l'attraction des poids paraissait suffire pour faire parcourir au fléau 15 divisions à peu près, l'attraction des verges seules devait lui faire parcourir environ 0,1 d'une division, et par conséquent 0,2 en faisant passer les verges de la position positive à la négative, et réciproquement. Il n'est pas sans intérêt de dire quelques mots du mouvement auquel le fléau était soumis. Voici comment Cavendish s'exprime à cet égard :

« Le résultat de l'expérience fut que pendant les 15 premières mi-« nutes, après le transport des verges d'une position rapprochée à « l'autre, très-peu de mouvement fut produit dans le fléau, et à peine « au delà de ce qui devait être produit par l'action de la gravité; mais « ensuite le mouvement s'accrut, de sorte qu'après un quart d'heure « ou une demi-heure au plus, le fléau se trouva avoir parcouru une « demie ou une division et demie dans la même direction qu'il avait « dû suivre par l'action de la gravité. En ramenant les verges de fer à « la position précédente, le fléau se mut en arrière plus qu'il ne l'a-« vait fait d'abord en avant. » D'autres essais du même genre ayant porté Cavendish à supposer que cet effet était dû au magnétisme, il remplaça les verges de fer par des verges de cuivre; les résultats ayant été les mêmes, il fut démontré qu'ils devaient être attribués à une cause accidentelle. Les poids de plomb ayant été rattachés, on procéda à une première expérience. Nous ferons observer que les verges de fer, en les faisant passer de la position positive rapprochée à la négative, ou réciproquement, n'excédaient pas une division en prenant le terme moyen, tandis que l'effet produit en faisant mouvoir les poids de la position intermédiaire à la position rapprochée, était d'environ quinze divisions : en sorte que, si l'on eût continué d'employer les verges de fer, l'erreur que cette cause eût apportée dans les résultats aurait à peine excédé un trentième du total.

Les poids dans la position intermédiaire.

POINTS EXTRÊMES.	DIVISIONS.	TEMPS.	POINT de REPOS.	TEMPS ou milieu de la VIBRATION.	DIFFÉRENCE
				h. ′ ″	h. ′ ″
	11,4	9h 42′ 0″			
	11,5	55 0			
	11,5	10 5 0	11,50		
A 10h 5′, les poids mis à la position positive :					
23,4					
27,6.....	.....	.....	25,82		
24,7.....	.....	.....	26,07		
27,3.....	.....	.....	26,10		
25,1					
A 11h 6′ les poids remis à la position intermédiaire :					
5					
	11	0,0 48	.....	0 1 13	
	12	1 30			
18,2. ...	.....	.....	12.....	.....	14 56
	12	16 29	.....	16 9	
	11	17 20			
6,6.....	.....	.....	11,92....	.....	14 36
	11	30 24	.....	30 45	
	12	31 11			
16,3.....	.....	.....	11,72....	.....	15 23
	12	45 58	.....	45 58	
	11	47 4			
7,7					

Mouvement en déplaçant les poids de l'intermédiaire à la positive.. = 14,32
de la positive à l'intermédiaire.. = 14, 1
Temps d'une vibration..... = 14′,55″

Les oscillations, en déplaçant les poids de la position intermédiaire à la positive étaient si petites, que l'on n'a point observé le temps de l'oscillation. Les poids étant ramenés de la position intermédiaire, Cavendish déterminait le temps de l'arrivée du fléau au point milieu de chaque oscillation; pour voir jusqu'à quel point s'accordaient entre eux les temps des différentes oscillations, dans la plupart des expériences, il s'est contenté d'observer ce temps d'arrivée au point milieu seulement pour la première et la dernière division.

Dix-sept expériences semblables ont été faites, et les résultats que

Cavendish en a déduits ont servi à calculer la densité de la terre, en admettant d'abord que le fléau et la verge de cuivre étaient sans pesanteur et que les poids n'avaient une attraction sensible qu'à l'égard de la balle la plus proche, puis en faisant les corrections nécessaires à l'introduction dans le calcul de la pesanteur du fléau et de la verge. Il nous est tout à fait impossible d'entrer dans les détails des calculs. Nous renvoyons pour cela le lecteur au mémoire de Cavendish, dont la traduction se trouve dans le *Journal de l'école polytechnique*, tom. X. Ces calculs l'ont mis à même d'établir, d'après la moyenne entre dix-sept résultats s'accordant assez bien ensemble, que la densité de la terre est 5,48 fois plus grande que celle de l'eau, détermination qui doit être considérée, par conséquent, comme fort exacte. Néanmoins Cavendish ne s'est pas dissimulé à lui-même qu'il pourrait se faire que le résultat fût influencé par les courants d'air; mais comme les expériences ont été faites en divers temps avec des différences considérables dans la température des poids et de l'air, et le fléau étant à des distances diverses des côtés de la boîte, il n'est guère probable que la cause en question ait influé toujours dans le même sens, de manière à entacher d'erreur le résultat final.

Nous rappellerons que Maskelyne, au moyen de l'attraction exercée sur le fil à plomb par la montagne Schehallien, avait trouvé que la densité de la terre était égale à 4,50, celle de l'eau étant 1, nombre qui diffère d'un cinquième de celui obtenu par Cavendish.

CHAPITRE II.

De la cohésion.

L'attraction des molécules des corps ne s'exerce qu'à des distances infiniment petites, non perceptibles par conséquent à nos sens, et décroissant avec une extrême rapidité. Ce n'est plus très-probablement en raison inverse du carré de la distance, mais bien d'une puissance inconnue de cette distance qu'elle agit. Il faut y rapporter : 1° les ef-

fets de l'action mutuelle des molécules similaires, ou de la force d'agrégation appelée cohésion ; 2° les phénomènes capillaires produits au contact des solides et des liquides ; 3° les actions entre les molécules hétérogènes comprenant les phénomènes chimiques. Les forces qui produisent ces phénomènes, avec l'électricité, la chaleur, la lumière et la pesanteur, complètent le système de forces qui régit la nature inorganique et intervient dans la nature organique. Nous allons exposer successivement les effets généraux de l'attraction agissant à de petites distances, après avoir dit quelques mots cependant de l'inertie de la matière, dont on a fait une force, quoiqu'elle ne représente en réalité qu'un état passif. Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement ; ce défaut d'aptitude à apporter par lui-même aucun changement dans son état actuel, est appelé *inertie*. Or, lorsqu'un corps en mouvement est sollicité par une force, ce mouvement est accéléré, ralenti, ou la direction de ce corps est changée, suivant l'intensité et la direction de cette force. Si celle-ci est entièrement opposée à la ligne parcourue par le corps, les effets produits peuvent être comparés à ceux d'une résistance. De même, quand un corps est en repos, il oppose une résistance à l'action d'une force qui tend à lui faire perdre cet état ; cette résistance, ce défaut d'aptitude qu'a le corps pour entrer en mouvement par lui-même, peut donc être assimilé à une force agissant en sens inverse. C'est sous ce point de vue que l'on envisage l'inertie de la matière comme une force, qui intervient dans l'action de celles dont il va être question. C'est pour ce motif que nous en faisons mention.

Pour avoir une idée de la cohésion, on n'a qu'à presser l'un sur l'autre avec frottement deux disques de verre parfaitement polis ; si l'on veut ensuite les séparer, on éprouve une résistance plus ou moins grande, qui augmente tellement avec le temps, que l'on a vu des glaces adhérer avec une si grande force, qu'on les aurait brisées plutôt que de les séparer. On doit rapporter également à la même cause la formation de certains grès composés de petits grains de quartz adhérents les uns aux autres sans l'intermédiaire d'un ciment ; ainsi que la production de ces masses compactes qui se forment à la longue dans des poudres homogènes, comme M. Chevreul en a vu un exemple dans du soufre très-divisé. Ces effets, qui n'ont lieu toutefois qu'au contact immédiat, sont produits quelque minces que soient les corps. C'est donc un phénomène de surface, c'est-à-dire provenant seulement de l'action des molécules composant ces surfaces, et agissant par conséquent à de petites distances. Pour concevoir comment la cohésion

augmente avec le temps, soit dans l'adhésion des disques, soit dans la production des grès, il faut admettre que son action prolongée sollicite les molécules à de petites oscillations en vertu desquelles les parties saillantes de chaque surface se placent dans les interstices de l'autre, et d'où résulte un rapprochement plus intime. Pour estimer avec précision le degré de résistance qu'opposent avec le temps les corps à leur séparation, il faut diriger la force qui tend à produire celle-ci dans le sens où elle agit, c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire aux surfaces de contact. Parmi les effets nombreux de la cohésion, nous citerons la forme sphérique que prennent de très-petites masses liquides projetées sur un plan n'exerçant sur elles aucune action, et cette propriété que possèdent tous les corps de cristalliser, c'est-à-dire de prendre une forme régulière en passant plus ou moins lentement de l'état liquide ou gazeux à l'état solide, quand aucune cause perturbatrice ne vient y mettre obstacle. Dans ce cas, le cristal est formé de molécules similaires qui n'ont pu se réunir qu'autant qu'elles ont eu toute liberté d'effectuer les mouvements oscillatoires nécessaires, pour qu'elles présentent les unes aux autres les faces convenables.

D'après la définition que nous avons donnée de la cohésion, cette force doit être nulle ou à peu près dans les gaz, sensible dans les liquides, et acquérir son maximum quand les molécules prennent l'état solide et que le corps possède la plus basse température. C'est pour ce motif qu'en chauffant les corps, on diminue la cohésion jusqu'au point de la liquéfaction. Peu d'expériences ont été faites dans le but de connaître la loi que suit la diminution de la cohésion avec la température. Nous parlerons, au chapitre des phénomènes capillaires, des expériences qui ont été faites à ce sujet, d'une part, par M. Gay-Lussac, de l'autre, par nous et M. Ed. Becquerel. Nous reviendrons également sur la cohésion, en parlant de l'affinité, dans les actions de laquelle elle intervient.

La cohésion est loin d'être la même dans tous les corps; elle varie non-seulement en raison de leur nature, mais encore avec l'arrangement de leurs molécules. C'est aux modifications qu'elle éprouve qu'il faut rapporter non-seulement dans tous les corps, mais encore dans le même corps, ces propriétés ou plutôt ces qualités désignées sous la dénomination de dureté, fragilité, ductilité, élasticité, qui varient suivant l'arrangement des molécules et la température, et que l'on a un si grand intérêt à connaître pour les besoins des arts. Énumérons les différents effets de la cohésion.

De la cristallisation.

La cohésion nous conduit naturellement à l'étude de la force en vertu de laquelle les molécules similaires se groupent régulièrement pour former des cristaux, ou du moins des circonstances principales qui modifient son action, car la nature de la force nous est tout à fait inconnue. Une substance tenue en dissolution dans un liquide cristallise, toutes les fois que ce liquide s'évapore lentement, qu'aucune cause ne met obstacle à l'action de la force d'agrégation, ou bien lorsque les molécules de cette substance, en se déposant lentement, peuvent se placer les unes à côté des autres, suivant les faces convenables; mais, dans tous les cas, la forme du cristal qui en résulte est susceptible de varier, comme la nature nous en offre un grand nombre d'exemples. M. Beudaut, qui a fait une série nombreuse d'expériences pour déterminer les causes de ces variations, en reconnaît trois fondamentales, dont chacune peut agir isolément, ou avec les deux autres, ce qui donne naissance à cette multitude de formes qu'une même substance peut affecter. Voici ces causes :

1° Les mélanges mécaniques de matières étrangères qu'un sel peut entraîner en cristallisant; 2° la nature du liquide au milieu duquel se forment les cristaux, laquelle peut varier par la présence des matières solides, liquides et gazeuses tenues en solution et non susceptibles de se combiner avec la substance qui cristallise; 3° la combinaison en proportions variables de telle ou telle substance avec celle qui cristallise. Citons quelques exemples de l'influence de ces trois causes.

Influence des mélanges mécaniques. En général, on observe dans la nature que les cristaux mélangés mécaniquement de matières en particules plus ou moins fines ont toujours une forme plus simple que ceux formés d'une substance pure. Les cristaux d'axinite, de feldspath en sont une preuve. La même chose arrive quand on fait cristalliser un sel au milieu d'un dépôt de matières incohérentes, en particules très-fines, et dont les cristaux en entraînent toujours une portion qui s'y trouve à l'état de dissémination.

Influence de la nature du liquide. Cette influence se fait sentir, soit par un changement de forme, soit par la production de facettes additionnelles. Le chlorure de sodium, par exemple, cristallise presque toujours en cubes dans l'eau pure, en cubes tronqués sur les angles dans une solution d'acide borique. L'alun prend la forme octaédrique en cristallisant dans l'acide nitrique; celle de l'icosaèdre dans

l'acide chlorhydrique; en ajoutant dans ce dernier cas de l'alumine, on fait naître des faces du cube plus ou moins étendues. Dans l'eau pure, ce sel donne l'octaèdre complet. On fait varier la cristallisation de plusieurs sels, en versant quelques gouttes de leur acide dans leur solution, etc.

Des effets analogues ont dû être produits dans la nature lors de la formation des substances minérales qui ont rarement cristallisé seules. On observe effectivement qu'un même composé affecte en général la même forme quand il est accompagné des mêmes substances, et qu'il présente des formes diverses quand il se trouve entouré de substances différentes. Ainsi, l'arragonite des mines de fer est en cristaux pyramidaux très-aigus; elle est, au contraire, en cristaux prismatiques dans les argiles gypseuses des dépôts salifères. Nous pourrions citer bien d'autres exemples semblables, mais ceux-ci suffisent pour montrer l'influence des matières mélangées sur la cristallisation.

Influence des matières qui se combinent. Les modifications dues à cette influence sont du même ordre que celles produites par la cause précédente. Ainsi le sulfate de fer, mélangé de sulfate de cuivre, prend toujours la forme simple d'un prisme oblique rhomboïdal. Le sulfate de nickel produit le même effet, celui de zinc un effet différent, etc., etc. Les mélanges chimiques modifient également les formes : par exemple, l'alun parfaitement pur cristallise dans l'eau pure en octaèdre plus ou moins modifié; vient-on à le faire cristalliser dans une solution simple d'alumine assez concentrée pour qu'il en entraîne une partie, il prend la forme cubique. Lors donc qu'on place un cristal, tel qu'un octaèdre d'alun, dans une solution qui donne ordinairement la forme cubique, le premier continuera à s'accroître, mais prendra la forme cubo-octaèdre pour arriver au cube. Des effets semblables ont dû se produire et se produisent probablement encore dans la nature, surtout quand on voit sur le même groupe des formes différentes superposées, ce qui tend à prouver qu'elles n'appartiennent pas aux mêmes époques.

Les observations qu'on a faites sur la production de gros et de petits cristaux, nous indiquent qu'en général les premiers sont formés quand la solution est plus volumineuse et que la concentration a été mieux conduite; que les seconds s'obtiennent ordinairement dans de petits vases, ou lorsque la solution est plus étendue. On peut cependant obtenir un ou plusieurs gros cristaux avec une solution peu volumineuse, en enduisant les parois intérieures du vase d'une couche

de matière grasse, à l'exception de l'endroit où l'on veut obtenir un cristal. On peut encore placer la solution dans un vase cylindrique étroit, ayant dans le bas une petite cavité où s'opère la cristallisation. Au moyen de cette disposition, la solution est toujours saturée dans la partie inférieure quand il ne se produit plus de cristaux sur les parois, puisque, lorsque la solution est épuisée dans le bas, elle est remplacée immédiatement par celle des couches supérieures.

Il n'a été question jusqu'ici que des causes qui président à la production des cristaux réguliers, et nullement de celles dont l'action donne naissance à des formes plus ou moins oblitérées qui ne permettent pas toujours de reconnaître les formes régulières d'où elles dérivent. Cette partie de la cristallographie est encore peu avancée. Voici néanmoins ce que nous savons à cet égard : pour obtenir des cristaux réguliers, il faut que la solution soit dans un état de concentration suffisante et que rien ne trouble la cristallisation; si l'évaporation est interrompue ou que la solution prenne de l'eau à l'atmosphère, alors les arêtes des cristaux s'arrondissent et leur surface devient rugueuse.

Avec une solution trop concentrée, on a souvent des groupes irréguliers de cristaux, et quand ils se forment dans une solution très-concentrée au milieu d'une matière terreuse, ils se présentent assez fréquemment avec des faces creuses, les arêtes seules étant nettement formées. Les cristaux naturels à faces creuses paraissent se former dans des circonstances semblables, comme nous en avons la preuve dans les cristaux de quartz qui se rencontrent au milieu de matières terreuses incohérentes.

Les cristaux aciculaires se produisent à certains degrés de température; ainsi on peut, avec la même substance, obtenir à volonté des aiguilles ou des cristaux parfaitement réguliers : plusieurs sels, tels que le sulfate simple d'alumine, ne peuvent être obtenus que sous forme d'aiguilles.

On obtient des dendrites quand les dissolutions salines sont peu concentrées et que l'évaporation est peu rapide, et, dans ce cas, les molécules salines se déposent les unes à côté des autres sur les parois des vases, et y forment des végétations plus ou moins irrégulières, ayant de la ressemblance avec les arborescences.

M. Beudant a fait des expériences curieuses qui mettent sur la voie du mode de formation de certaines mâcles : en faisant cristalliser du sulfate de soude, du sulfate double de potasse et de magnésie, du tartrate de potasse et de soude, etc., au milieu d'un précipité de cya-

nure de fer, il a reconnu que la partie de cette dernière substance, qui est entraînée dans l'intérieur du cristal par l'action cristallisante, présente une pyramide quadrangulaire à base carrée ou à base rhombe, plus ou moins allongée, suivant le sel, et dont les arêtes forment souvent des prolongements suivant les diagonales du solide, en dessinant sur sa base une croix plus ou moins nette. Quelquefois aussi la matière bleue se dépose en couches plus ou moins espacées, parallèles aux faces prismatiques du cristal.

Il existe encore des structures accidentelles, dues à des causes que nous devons indiquer. La structure saccharoïde a lieu avec une solution très-concentrée, qui, en se prenant en masse, forme un agglomérat de très-petits cristaux. La structure fibreuse est le résultat de l'accumulation dans le sens longitudinal, de molécules formant des dendrites, ou bien lorsque la solution s'échappe par des fissures de matières poreuses. Dans la nature, on trouve des effets du même genre produits dans des circonstances analogues; c'est ainsi que les substances fibreuses remplissent ordinairement des fissures dans les roches. Nous nous bornons à indiquer les causes générales, ne pouvant entrer dans tous les détails des circonstances très-variées qui en modifient les effets. Il ne reste plus maintenant, pour compléter ce que nous avons à dire sur les causes qui concourent à la production des cristaux et aux modifications qui en résultent quelquefois, qu'à parler de celles qui influent sur le changement de système cristallin.

En traitant de la structure cristalline des corps (t. I, p. 281), on a vu qu'une substance pouvait cristalliser dans deux systèmes différents, et que deux substances de nature différente pouvaient prendre des formes identiques. M. Beudant, qui a tâché de remonter aux causes de variation du système cristallin, a trouvé quelques résultats qui ne sont pas sans intérêt pour la physique moléculaire. Suivant lui, ces causes paraissent dépendre de la nature du dissolvant. Voici comment il s'exprime à cet égard, après avoir rappelé que l'eau peut dissoudre souvent à saturation deux sels différents; cela posé, voici ce qui arrive ordinairement : « Si le sel que l'on fait dissoudre dans un liquide déjà saturé « par un autre sel est plus cristallisable que celui-ci, il arrive qu'il se « dépose bientôt en cristaux, qui, au lieu d'affecter la forme qui leur « est particulière, prennent celle de l'autre sel. » Le nitrate de chaux et celui de potasse en solution saturée sont dans ce cas, car le nitrate de potasse cristallise dans le système rhomboédrique, qui est celui du nitrate de chaux, au lieu du système prismatique rectangulaire droit, qui lui est propre. Le sulfate de fer cristallise en octaèdre ré-

gulier, dans une solution renfermant à la fois beaucoup d'alun et de sulfate de magnésie. En suivant cette marche et en opérant à des températures élevées ou basses, M. Beudant est parvenu à faire cristalliser une même substance dans trois systèmes différents. De là, il a été conduit à cette conjecture, que la cristallisation est indépendante des substances cristallisables, et n'est que le résultat *des forces plastiques de la solution.*

La chaleur seule peut aussi produire un changement dans le système cristallin. Il suffit, en effet, d'élever la température de certains cristaux pour obtenir ce changement; nous en avons un exemple dans l'arragonite, qui tombe en poussière en la chauffant suffisamment, et qui se change très-probablement alors en carbonate de chaux ordinaire.

Les cristaux octaédriques de soufre obtenus par la voie humide, en laissant évaporer du carbure de soufre tenant du soufre en solution, appartiennent au système prismatique rectangulaire droit; tandis que ceux formés par la voie sèche, en faisant fondre du soufre et le soumettant à un refroidissement lent, dérivent de prismes obliques à base rhomboïdale incompatibles avec les premiers. Ces cristaux, abandonnés à eux-mêmes à la température ordinaire, deviennent opaques, friables, et se convertissent en petits octaèdres disposés bout à bout. On pourrait citer un grand nombre de faits du même genre: ainsi, l'iodure rouge de mercure, chauffé de 150 à 200°, perd sa couleur rouge pour prendre la couleur jaune citron, changement qui annonce un nouvel arrangement moléculaire. L'acide arsénieux fondu donne une masse vitreuse, transparente et d'une couleur tirant sur le jaune; abandonnée à elle-même à la température ordinaire, elle se convertit peu à peu en une substance opaque d'un blanc laiteux. Nous citerons encore comme exemples de dimorphisme les changements de couleur qu'éprouvent certains corps quand ils sont chauffés; ainsi l'acide titanique, chauffé au rouge, passe du blanc au jaune verdâtre; l'oxyde de mercure, du rouge au violet, etc.

Tous ces faits, et bien d'autres que nous pourrions rapporter, prouvent que deux corps, identiques dans leurs propriétés chimiques, peuvent se présenter à nous avec des propriétés physiques différentes sous le rapport de la forme cristalline, de la densité, de la dureté, de la couleur et des propriétés optiques; tel est le caractère du dimorphisme.

De la dureté.

Les molécules d'un corps solide sont dans une position où elles of-

frent le plus de résistance à un changement d'état. Cette résistance constitue la dureté, qui varie d'un corps à l'autre. Si, ayant perdu momentanément leur position d'équilibre par une cause quelconque, elles y reviennent en effectuant une série d'oscillations isochrones, et que le corps n'ait point perdu par conséquent sensiblement sa forme primitive, on dit qu'il est élastique. Cet effet ne peut être produit qu'autant que les molécules ne sont pas sorties de leur sphère d'activité; car, si elles vont au delà, elles prennent alors de nouveaux états d'équilibre stable, et le corps conserve la forme qu'on lui a donnée. Tel est le caractère d'un corps ductile. Un corps solide peut donc être élastique ou mou; entre ces deux états, il en existe une infinité d'autres dont les arts ont tiré de grands avantages. La dureté, qui est une conséquence de l'adhérence entre les molécules, s'oppose plus ou moins à la manifestation de ces diverses propriétés contre lesquelles lutte sans cesse la force expansive de la chaleur qui s'oppose à la force attractive des molécules. L'influence de la figure des molécules intervient dans la cohésion; on en a la preuve dans les phénomènes de la congélation et de la cristallisation. Les détails dans lesquels nous sommes entrés dans l'introduction historique relativement à la cristallisation, ne doivent laisser aucun doute à cet égard.

On juge des différents degrés de dureté d'un corps avec la lime et le marteau, mais de préférence avec la lime; car la résistance qu'opposent les corps au frottement n'annonce pas toujours la faculté de résister à la percussion. Nous sommes conduits ainsi à faire une distinction entre les corps durs. Prenons le verre et le bois : le premier est plus dur que le second, et cependant il cède plus facilement que lui à la percussion. Le diamant nous offre un exemple d'un autre genre; il est regardé comme le corps le plus dur de la nature, puisqu'il raye toutes les substances connues, et cependant il se divise sous l'effort du marteau. La fragilité est la faculté que possèdent certains corps, comme le verre, de se briser avec plus ou moins de facilité par la percussion. Les corps privés de cette faculté sont, comme nous l'avons déjà dit, élastiques, mous, etc.

La ductilité est la faculté que possèdent un grand nombre de corps de changer de forme sous l'action de forces plus ou moins considérables. Tantôt elle se manifeste par le plus léger effort, comme dans l'argile, la cire, etc.; quelquefois il faut employer des forces énergiques, la percussion, le laminoir et la filière, comme plusieurs métaux nous en offrent des exemples.

Métaux rangés suivant la facilité avec laquelle ils peuvent être

travaillés au marteau, passés au laminoir ou tirés à la filière.

Métaux travaillés au marteau. Plomb, étain, or, zinc, argent, cuivre, platine, fer.

Métaux passés au laminoir. Or, argent, cuivre, étain, plomb, zinc, platine, fer.

Métaux tirés à la filière. Platine, argent, fer, cuivre, or, zinc, étain, plomb.

La température, écartant les molécules, augmente nécessairement la ductilité. Quelques métaux, cependant, font exception : le cuivre se forge plus difficilement à chaud qu'à froid; le plomb et l'étain, qui sont si ductiles à froid, se brisent à une température peu éloignée de leur terme de fusion.

De l'élasticité.

Cette propriété que nous avons déjà définie est exposée avec de tels développements dans tous les ouvrages spéciaux que nous ne rapporterons que les faits généraux qui peuvent être de quelque utilité à la physique appliquée. On distingue trois espèces d'élasticité : l'élasticité de compression, la seule dont jouissent les gaz et peut-être les liquides, et que possèdent également les solides; l'élasticité de tension, et l'élasticité de torsion, propres aux solides seulement. L'élasticité de compression est démontrée par ce fait, que les gaz, après avoir été comprimés, reprennent exactement le volume primitif à température égale et à même pression. Celle du liquide a été mise en évidence au moyen d'un appareil imaginé par M. Œrsted, et dont on trouve la description et l'usage dans tous les traités de physique. Nous donnerons seulement ici le tableau de la compressibilité des liquides, que l'on peut avoir quelquefois besoin de consulter. On a mis en regard les résultats de M. Œrsted et ceux obtenus par MM. Sturm et Colladon, qui ont mis le plus d'exactitude possible dans leur détermination.

Tableau de la compressibilité des liquides.

NOMS DES SUBSTANCES.	COMPRESSIBILITÉ pour une atmosphère évaluée en millionième du volume primitif.	
	COLLADON et STURM.	OERSTED.
Mercure.	3,38	2,65
Acide sulfurique.	30,35	"
Acide nitrique.	30,55	"
Sulfure de carbone.	"	31,65
Ammoniaque.	33,05	"
Acide acétique	40,55	"
Eau non privée d'air	47,85	"
Eau privée d'air.	49,65	46,65
Éther nitrique	69,85	"
Essence de térébenthine..	71,35	"
Éther acétique	77,65	"
Éther hydrochlorique. . . .	84,25 pour la 1re atmosphère.	"
Id.	80,60 pour la 9e atmosphère.	"
Alcool	94,95 pour la 1re atmosphère.	21,65
Id.	91,85 pour la 9e atmosphère.	"
Id.	87,35 pour la 24e atmosphère.	"
Éther sulfurique à 1°. . . .	131,35 pour la 1re atmosphère.	61,65
Id.	120,45 pour la 24e atmosphère.	"
Id. à 11°.	148,35 pour la 1re atmosphère.	"
Id.	139,35 pour la 24e atmosphère.	"

Les résultats de MM. Colladon et Sturm sont loin de s'accorder avec ceux de M. OErsted; cela tient aux corrections relatives à l'allongement du verre, auxquelles les deux premiers ont eu égard dans les observations directes.

L'élasticité de tension, à laquelle se rattache la ténacité, se manifeste quand on tire, dans le sens de leur longueur, des fils, des tiges, des barres de différents corps, avec des forces qui ne dépassent pas certaines limites; tout en augmentant momentanément de longueur et diminuant de diamètre, les parties reviennent à leur position primitive d'équilibre aussitôt que les forces de traction cessent d'agir; mais si elles dépassent certaines limites qui varient pour chaque corps, suivant leur ténacité, les fils restent allongés; en dépassant un certain terme, il y a rupture.

Pendant la traction, le volume du corps augmente à peu près autant qu'il diminue pendant la compression. M. Caguiard la Tour a mis

en évidence cette propriété en étirant un fil de cuivre, convenablement disposé, dans un long tube rempli d'eau.

Entre certaines limites, les tiges et les fils ont une élasticité parfaite et prennent des allongements proportionnels aux forces de traction. Savart a fait à ce sujet un grand nombre d'expériences avec l'appareil, pl. IX, fig. 18. Les tiges fixées à leur partie supérieure sont tendues verticalement au moyen de poids placés à leur partie inférieure, et l'on juge de l'allongement au moyen du kathétomètre. Voici quelques résultats obtenus par cet habile physicien.

SUBSTANCES.	DIMENSIONS.		POIDS TENDANTS.						
	Longueur totale.	Diamètre.	0k.	5k	10k	15k	20k	25k	30k
			LONGUEUR DE LA PARTIE MESURÉE.						
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Cuivre....	1,3190	2,77	950,53	950,59	950,65	950,71	950,77	950,84	950,90
Cuivre....	1,3190	2.77	475,25	475,28	475,33	475,96	475,38	475,42	475,45
Cuivre....	1,300	1,30	950,59	950,84	951,16	951,45	951,70	952,00	952,27
Laiton....	1,3165	2,90	950,82	950,90	950,97	951,04	951,12	951,20	951,27
Acier.....	1,3184	2,77	950,25	950,29	950,34	950,38	950,41	950,26	950,50
Fer.....	1,3150	2,90	950,50	950,54	950,57	950,60	950,62	950,65	950,68
Verre....	0,976	3,817	936,69	936,76	936,83	936,91	936,96	937,04	937,12
Verre.....	0,939	4,073	937,04	937,12	937,16	937,22	937,27	937,34	937,39
Verre ...	0,980	7,55	937,39	937,40	937,43	937,45	937,46	937,48	937,50

Ces résultats prouvent en effet que des allongements égaux correspondent à des tractions égales. Savart, ayant divisé des tiges au moyen de points de repère, de décimètre en décimètre, a reconnu que, pour des tractions égales, les parties égales d'une même tige ne prenaient pas des allongements égaux, quoique la loi se vérifiât pour la tige entière.

Quand des fils, par suite d'une traction forcée, ont reçu un certain allongement, ils ne perdent pas pour cela leur élasticité, car ils se comportent comme dans leur état primitif.

Nous donnerons encore les résultats que Savart et M. Masson ont obtenus, chacun séparément, dans la détermination de l'allongement de tiges de cuivre, de laiton, de fer et d'acier.

CHARGES.	LAITON.			FER.			ACIER.			CUIVRE.		
	S. longueur.	Allongement.	M. longueur.	S. longueur.	Allongement.	M. longueur.	S. longueur.	Allongement.	M. longueur.	S. longueur.	Allongement.	M. longueur.
0k	950,82		958,44	950,50		964,50	950,25		955,96	950,53		
5	950 90	8	958,504	950,54	4	964,514	950,29	4	956,00	950,59	6	
10	950,97	7	958,60	950,57	3	954,56	950,34	5	956,046	950,65	6	
15	951,04	7	958,64	950,60	3	964,62	950,38	4	956,08	950,71	6	
20	951,12	8	958,726	950,62	2	951,636	950,41	3	956,124	950,77	6	
25	951,20	8	958,75	950,65	3	964,67	950,46	5		950,84	7	
30	951,27	7	958,92	950,65	3	964,72	950,50	4		950,90	6	
35	.....	....	958,95			(*)						
Allongement moyen....		7,51		.....	3			4,166			6,166	
						3,66			4,15			

(*) Vingt-quatre heures après, la température n'ayant pas changé, on a trouvé de nouveau 964,72 ; on a chargé la verge de 6 kilogrammes, l'allongement n'a pas varié dans une demi-heure d'une manière sensible.

Ces résultats montrent que les allongements n'ont pas lieu d'une manière continue, mais bien par saut brusque. La grande différence entre les résultats de Savart et ceux de M. Masson pour les verges de laiton et de fer, paraît provenir, suivant M. Masson, de l'allongement discontinu, qui amène avec le temps un nouvel arrangement des molécules. Ces molécules paraîtraient abandonner brusquement leur position d'équilibre pour en prendre une autre dépendant de l'intensité de la force, et qui n'est stable qu'au bout d'un certain temps.

L'influence de la température sur l'élasticité est sensiblement nulle de $-4°$ à $+20°$, comme l'a observé M. Masson.

Quant à l'influence de la trempe, Coulomb avait annoncé qu'elle

paraissait également nulle. Mais M. Masson, d'après quelques expériences, a été conduit à reconnaître une différence dans l'allongement du corps trempé et celui du ressort recuit. Il a opéré avec un ressort de montre dont il a mesuré d'abord l'allongement; puis, l'ayant fait recuire, il l'a mesuré de nouveau, en employant des charges successives de 4 kilog.

Moyenne d'allongement pour 1 kilog. :

Ressort trempé..... 1c. mm. 63
Ressort recuit..... 1c. mm. 739

De l'élasticité de torsion.

Cette propriété est celle que possèdent les fils fins de certains métaux après avoir été tordus, de revenir dans leur position première; elle a été mise à profit pour la construction de la balance de torsion, qui a servi à Coulomb pour déterminer les lois des attractions et répulsions, électriques et magnétiques; et à Cavendish pour trouver la densité de la terre.

Nous rappellerons les lois générales de l'élasticité de torsion :

1° *En chargeant un fil de différents poids, il s'arrête en général dans des positions de stabilité différentes;*

2° *Les oscillations du fil sont isochrones* toutes les fois que leur amplitude ne dépasse pas une certaine limite qui dépend de la nature et de la longueur du fil; d'où il résulte que la force de torsion est proportionnelle à l'angle de torsion;

3° *Les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des poids qui tendent les fils.* Cette loi n'a lieu qu'autant que la force de torsion d'un fil reste exactement la même avec les différents poids qui le tendent;

4° *Les durées des oscillations sont entre elles comme les racines carrées des longueurs des fils;*

5° *Les durées des oscillations sont en raison inverse des carrés des diamètres des fils.*

Toutes ces propriétés sont représentées au moyen de la formule

$$t^2 = \frac{\pi^2 p r^2}{2 g f}.$$

π est le rapport de la circonférence au diamètre, 3,141 592.

g, gravité à Paris, ou 9^m,8088.

t, durée d'une oscillation évaluée en secondes.

p, poids cylindrique qui tend le poids.

r, rayon du cylindre dont le poids est p.

f, force de torsion du fil, ou l'effort à exercer à l'extrémité d'un levier d'un mètre de longueur pour le maintenir tordu d'un arc dont la valeur rectiligne serait aussi un mètre, en le comptant sur une circonférence d'un mètre de rayon.

De la ténacité.

Les corps opposent une plus ou moins grande résistance à la traction ; cette résistance mesure la ténacité, qui dépend probablement de l'arrangement des molécules. Pour l'évaluer, on tire les corps façonnés en tiges ou en prismes dans le sens de leur longueur ; en désignant par n le nombre de millimètres carrés de la section perpendiculaire à l'axe, k le nombre de kilogrammes nécessaires pour que la rupture ait lieu, si l'on suppose que l'effort se partage également sur tous les points de la section, $\frac{k}{n}$ sera l'effort supporté par l'unité de surface, c'est-à-dire par millimètre carré : cette expression représente la mesure de la ténacité. Voici quelques résultats d'expériences obtenus ainsi :

Fer en fil environ.....		60 kilog. par mill. carré.
Fer en barres.....		45
Tôle de fer.....	36 à	40
Acier en barres.....	30 à	40
Fonte de fer.....		14
Laiton de fer.....	30 à	60
Cuivre rouge laminé.....		21
Verre en tige ou en tube....		2,5
Plomb.....		1,35

Ténacité des bois dans le sens des fibres :

Espèces de bois.	Par cent. carré à l'instant de la rupture.
Buis.....	1400 k.
Frêne.....	1200
Sapin.....	900
Chêne de Malabar.....	813
Hêtre.....	800
Chêne.....	700
Poirier.....	690
Acajou.....	560

CHAPITRE V.

De l'affinité.

On distingue en chimie trois espèces de forces attractives en raison des effets différents produits, suivant que les molécules sont semblables ou hétérogènes; cependant il est à croire qu'elles dérivent du même principe. Ces trois espèces de forces sont :

1° La cohésion;

2° La force de dissolution ;

3° L'affinité.

La cohésion exerce son action entre les molécules de même corps, c'est-à-dire entre des molécules similaires.

La force de dissolution, opposée à la précédente, se manifeste entre des molécules plus ou moins semblables, et qui, en se mêlant, conservent leur propriété individuelle.

L'affinité est cette force à laquelle on rapporte tous les phénomènes chimiques, combinaisons, décompositions, etc., et dont l'action ne s'exerce qu'au contact apparent des molécules hétérogènes, de même que la cohésion n'exerce la sienne qu'au contact des molécules similaires. Parlons d'abord de l'affinité.

On conçoit parfaitement que plus l'état de division des corps est grand, plus les molécules ont de facilité pour réagir les unes sur les autres; ce grand état de division est surtout indispensable quand l'affinité est faible, car si elle est très-énergique, elle s'exerce même entre des corps à l'état solide, comme le dégagement de gaz ammoniac nous en fournit la preuve dans le mélange trituré de sel ammoniac et de chaux. L'état liquide et l'état gazeux, en donnant aux molécules une plus grande liberté d'action, favorisent donc éminemment l'action de l'affinité; mais il est encore un autre état qui facilite singulièrement les combinaisons, c'est l'état naissant, cet état dans lequel se trouvent les molécules à l'instant où elles sortent d'une combinaison, alors qu'étant isolées elles ne sont point encore aux prises avec la cohésion qui tend à affaiblir l'action de l'affinité. En vain chauffe-t-on l'hydrogène avec l'azote ou l'arsenic pour les combiner ensemble; mais si l'hydrogène, à l'état naissant, à l'instant où il se

dégage d'une combinaison, de l'eau par exemple, rencontre un de ces deux corps, il se combine avec lui et forme de l'ammoniaque ou de l'hydrure d'arsenic. Nous pourrions citer mille faits semblables; mais c'est principalement en électro-chimie que l'on a constamment l'avantage de pouvoir disposer des éléments des corps à l'état naissant, et dont on tire un parti avantageux pour former un grand nombre de composés que la chimie n'a pas toujours la possibilité de produire. Cet isolement des molécules est une des conséquences de la décomposition électro-chimique; c'est pendant qu'elle a lieu et à l'instant où elles arrivent sur les lames décomposantes, que les molécules jouissent de leurs propriétés électriques, qui constituent suivant nous l'état naissant.

Nous ne nous occuperons point de l'affinité considérée dans ses rapports avec le nombre d'éléments dont se compose une combinaison, puisque ce point a déjà été traité tome Ier, page 242, en exposant la théorie des proportions définies. Il ne sera question ici que de l'affinité envisagée comme force, et des phénomènes physiques qui accompagnent son action.

Quand une combinaison s'opère, l'effet qui nous frappe d'abord est l'élévation de température, et même une émission de lumière si l'action est très-énergique. Nous reconnaissons ensuite que les propriétés du corps formé sont tout à fait différentes de celles de ses parties constituantes; le corps occupe en effet un volume moindre que celui de ces parties; dès lors la densité est plus grande. Il faut en excepter cependant quelques alliages, tels que ceux d'or et d'argent, dont le volume est plus grand. La saveur n'est plus la même, conséquence de la neutralisation des propriétés acides et alcalines des éléments. La couleur du composé est souvent différente de celle de ses éléments, comme les oxydes métalliques nous en offrent de si nombreux exemples. Outre le dégagement de chaleur, et quelquefois de lumière, il y a encore un dégagement d'électricité soumis aux lois suivantes. Dans toutes combinaisons, le corps qui se comporte comme acide rend libre de l'électricité positive, et celui qui agit comme alcali de l'electricité négative. Les quantités d'électricité mises en liberté dépendent de l'intensité de l'affinité, du pouvoir conducteur du dissolvant et de celui du corps dissous. Cet effet est inséparable de toute action chimique, et doit être pris désormais en considération dans un grand nombre de cas où l'on a pour but de faire naître l'affinité où elle ne pouvait se manifester. C'est là précisément le but que l'on se propose en électro-chimie. Pour nous,

affinité et électricité sont deux choses inséparables. Dans tous les phénomènes observés jusqu'ici, l'affinité et l'électricité nous représentent deux forces agissant constamment ensemble et liées par des rapports tellement intimes, que l'une peut suppléer à l'action de l'autre, *et vice versa.*

Passons en revue les idées adoptées en chimie sur l'affinité, en commençant par celles exposées dans la statique chimique, et qui fixèrent l'attention générale quand cet important ouvrage parut. Nous allons être forcé d'entrer dans quelques détails de réactions chimiques pour être plus intelligible. D'après la manière de voir de Berthollet, lorsqu'un acide est versé dans une solution saline, tel que l'acide sulfurique, par exemple, dans une solution de nitrate de potasse, les deux acides se partagent la base proportionnellement à leur quantité; ce qui veut dire, dans la théorie atomique, en raison du nombre de leurs atomes. Il se trouve donc dans la dissolution de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique libres, du sulfate et du nitrate de potasse. Mais si, par une cause quelconque, un de ces corps vient à être enlevé, il s'opère de proche en proche une décomposition. Vient-on, par exemple, à volatiliser l'acide nitrique en chauffant, cet acide ne contre-balance plus l'action de l'acide sulfurique, qui peut alors décomposer une nouvelle quantité de nitrate de potasse, en rendant libre de l'acide nitrique, ainsi de suite jusqu'à ce que ce dernier acide soit entièrement volatilisé; il ne reste plus alors dans la dissolution que du sulfate de potasse et un excès d'acide sulfurique, si l'on en a pris une quantité plus grande qu'il ne fallait pour saturer toute la potasse. Si l'on met, au contraire, en présence une forte base, telle que la potasse ou la soude, avec une solution de sulfate d'ammoniaque, on a des effets absolument semblables. Il en est encore de même en mélangeant ensemble deux solutions salines; dans ce dernier cas, il y a formation de quatre sels, attendu que chaque acide se partage les deux bases. Si l'on opère avec deux solutions salines donnant naissance par leur réaction à un composé insoluble, il se produit dans ce cas une succession extrêmement rapide de décomposition. Supposons que l'on mélange une solution de baryte avec une solution de potasse. A l'instant même où le mélange s'effectue, la liqueur contient du nitrate de baryte, du nitrate de soude, du sulfate de soude et du sulfate de baryte qui se précipite aussitôt. Immédiatement après, l'équilibre étant rompu par l'effet de cette précipitation, il y a nouvelle réaction du sulfate de potasse sur le nitrate de baryte, précipitation du sulfate de baryte formé; ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la dé-

composition soit achevée. Toutes ces réactions ont lieu, bien entendu, dans un temps infiniment court. C'est à l'aide de ces principes, et en faisant intervenir la cohésion dont nous parlerons dans un instant, que Berthollet est parvenu à expliquer des faits qui n'avaient pu être interprétés jusqu'à lui; mais il ne faut pas s'y tromper : dans ces principes, deux choses sont à considérer, la loi sur laquelle ils reposent et qui est incontestable, et l'hypothèse destinée à l'expliquer. Cette hypothèse est relative au partage en proportion définie dans le mélange de plusieurs solutions, de corps de nature semblable avec plusieurs autres antagonistes qui sont en présence.

Pour bien apprécier l'action des forces qui exercent une influence sur l'affinité, nous devons commencer par dire quelques mots de la force de dissolution. Si l'affinité produit des combinaisons en proportion définie, et que ce soit là son caractère essentiel, la force de dissolution forme des combinaisons en proportion indéfinie, auxquelles on a donné le nom de *dissolution*. Celle-ci diffère des combinaisons en proportion définie en ce qu'elle n'a lieu que lorsque les corps n'exercent qu'une faible action les uns sur les autres, comme les sels quand ils se dissolvent dans l'eau. De cette différence entre les modes d'action de l'affinité et de la force de dissolution qui en dérive, résultent d'autres différences opposées, caractéristiques.

Au lieu d'une élévation, il y a un abaissement de température; les corps dissous perdent leur cohésion, mais ils conservent leur saveur et leurs propriétés acides et alcalines, selon qu'ils sont neutres, acides ou alcalins. L'écartement des molécules similaires dans l'acte de la dissolution explique l'abaissement de température, de même qu'on se rend compte facilement du dégagement de chaleur dans les combinaisons par le rapprochement jusqu'au contact apparent des molécules hétérogènes. Il peut se faire qu'il arrive néanmoins que les effets calorifiques se neutralisent en tout ou en partie, quand la force de dissolution agit immédiatement après l'affinité, c'est-à-dire quand la dissolution suit la combinaison.

Dans les dissolutions il s'opère, comme dans les combinaisons, un dégagement d'électricité soumis aux lois suivantes. Lorsqu'on mélange une solution concentrée avec de l'eau, celle-ci prend l'électricité négative, et celle-là l'électricité positive ; la solution se comporte donc, sous le rapport des effets électriques produits, comme un acide dans sa combinaison avec un alcali. Une solution concentrée agit de même à l'égard d'une solution de même sel qui ne l'est pas. Ces effets dépendent d'un mouvement moléculaire dont il a été impossible encore de

se rendre compte. Dans le cas où le sel est acide ou alcalin, l'effet devient complexe, attendu que l'acide ou l'alcali libre, en réagissant sur l'eau, produit des effets tels, que l'eau, en se mélangeant avec l'acide, prend l'électricité négative, tandis que le contraire a lieu avec l'alcali.

Les effets électriques produits dans les combinaisons en proportions définies ainsi que dans les combinaisons en proportions indéfinies, ont entre eux une dépendance qui en fait supposer une entre les causes auxquelles sont dues ces combinaisons; dépendance qui, du reste, est généralement admise en chimie. Nous ajouterons enfin que les combinaisons en proportions indéfinies, comme les autres combinaisons, s'opèrent non-seulement entre les solides et les liquides, mais encore entre deux liquides, et même deux solides. Ainsi, l'eau dissout l'alcool, les acides, les alcalis, etc. Les métaux s'unissent en toute proportion par la fusion, d'où résultent quelquefois des combinaisons en proportions définies en solution dans le bain. Les combinaisons en proportions définies ou indéfinies sont influencées par trois causes qui compliquent l'action de l'affinité quand on cherche à la déterminer d'une manière absolue. Ces causes sont la cohésion, la chaleur et l'électricité. L'influence de la première, comme on va le voir, est encore un objet de discussion entre les chimistes, tandis que celle de la chaleur et de l'électricité ne saurait être mise en doute.

Influence de la cohésion.

Cette force, tendant à rapprocher les molécules, agit nécessairement en sens inverse de l'affinité d'un corps pour un autre, et de la force de dissolution, tandis que la chaleur, en les écartant, favorise son action. Les effets de l'affinité en présence de la cohésion et de la chaleur sont donc complexes; mais M. Gay-Lussac est loin d'admettre dans les actions chimiques l'influence de la cohésion, comme l'ont fait jusqu'ici les chimistes, car il l'exclut tout à fait. Ses opinions en pareille matière sont d'une telle importance, que nous devons les rapporter avec le plus de détails possible. Berthollet considérait la cohésion comme une force assez énergique pour balancer l'action de l'affinité au point de produire des combinaisons et des décompositions; force qui existait non-seulement quand ses effets étaient sensibles, mais même longtemps avant. Il s'appuyait à cet égard sur les faits suivants: *Quelques instants avant qu'un liquide*

ne se gazéifie, ou qu'un gaz ne se liquéfie, la dilatation du premier et la concentration du second sont déjà influencées par les nouveaux états que vont prendre ces deux corps, et suivent alors une progression plus rapide qu'à une certaine distance de ces termes.

M. Gay-Lussac fait observer qu'il faudrait alors admettre un terme unique, constant, pour le changement d'état; ce qui ne saurait avoir lieu, puisque ce changement s'opère sous toutes les pressions et à toutes les températures, et qu'il est impossible d'admettre, dans les précipitations et les dissolutions, la préexistence de l'influence de la cohésion, qui ne peut se manifester que lorsque les molécules sont déjà formées.

On admet, en chimie, que lorsqu'un corps est en présence de son dissolvant, la résistance que le premier oppose au second constitue l'insolubilité, laquelle dépend de la cohésion ou de l'attraction des molécules similaires des corps soumis à l'action du dissolvant, et de son affinité pour ce dernier. M. Gay-Lussac ne partage pas cette opinion. Voici les motifs qu'il en donne. Il commence d'abord par examiner quelle peut être l'influence de la cohésion sur la volatilisation, ce qui lui permet de se rendre compte ensuite plus facilement de ce qui se passe dans les phénomènes chimiques.

Si l'on prend un corps volatil pouvant se présenter solide et liquide dans des limites de température abordables, tel que l'eau, et que l'on cherche la force élastique de sa vapeur à partir de — 20° jusqu'à zéro, on trouve d'abord qu'elle est la même pour la glace à zéro que pour l'eau à la même température, et qu'il en est de même pour tout autre degré du thermomètre auquel on peut obtenir à la fois l'eau à l'état solide et à l'état liquide; et cependant, à la manière dont on considère la cohésion, celle-ci est beaucoup plus grande dans la glace que dans l'eau. D'autres exemples semblables prouvent également qu'il n'existe aucun rapport entre la cohésion et la force répulsive; d'où il suit que la force élastique de la vapeur ne serait déterminée que par le nombre de molécules d'eau pouvant se maintenir à l'état gazeux dans un espace déterminé, à une température donnée.

Pour savoir quels peuvent être les effets de la cohésion dans les dissolutions, prenons des corps réunissant la double condition d'être solubles dans un dissolvant, et de pouvoir se présenter solides et liquides dans des limites abordables de température. Aucun sel ni aucun acide ne réunit cette double condition, mais parmi les corps inflammables, la cétine, la paraffine et les acides gras et solides ne présentent aucune anomalie dans leur solubilité dans l'alcool. En passant

de l'état solide à l'état liquide, la progression est parfaitement continue et régulière. Or, la cohésion de ces corps à l'état solide étant plus grande que lorsqu'ils sont à l'état liquide, et leur solubilité n'étant pas troublée à l'instant du passage d'un état à l'autre, ni avant ni après, ainsi qu'aux environs, on peut en conclure qu'elle est indépendante de la cohésion. Nous retrouvons les mêmes effets avec les substances gazeuses; ainsi le chlore ne présente pas de changements dans sa solubilité au moment de son changement d'état. De plus, si la dissolution d'un sel était influencée par la cohésion, le dissolvant ne pourrait jamais s'en saturer complétement par le simple contact. Ainsi, tout tend donc à prouver, suivant M. Gay-Lussac, que la cohésion n'intervient en rien dans la dissolution. Celle-ci varie avec la température, de même que l'élasticité des vapeurs. L'action dissolvante est sans aucun doute liée à l'affinité réciproque du dissolvant et du corps dissous, avec cette différence que les effets de l'affinité ne sont pas variables avec la température, tandis que ceux de la dissolution en dépendent essentiellement; d'où il semble résulter que dans la dissolution comme dans la vaporisation, le produit est essentiellement limité à chaque degré de température, par le nombre de molécules pouvant exister dans une portion donnée du dissolvant, dont elles se séparent par la même raison que les molécules élastiques se précipitent par un abaissement de température; et, probablement encore, comme ces dernières, par la compression et la réduction du volume du dissolvant. La dissolution serait donc essentiellement liée à la vaporisation, en ce sens que l'une et l'autre dépendent de la température et obéissent à ses variations, et conséquemment ces deux actions présentent beaucoup d'analogie. Elles diffèrent en ce que les molécules gazeuses n'ont pas besoin, comme les molécules d'un corps solide, d'un dissolvant pour se soutenir dans un espace donné, leur force élastique leur donnant cette faculté. D'après l'analogie que nous venons d'établir, et comme il paraît incontestable que la force élastique de la vapeur d'un corps soit tout à fait indépendante de la cohésion, M. Gay-Lussac en conclut que la dissolution est également indépendante de la cohésion.

Passons maintenant à la combinaison. Si on la compare à la dissolution, on trouve que celle-ci varie à chaque instant avec la température, tandis que celle-là n'obéit pas à ces variations. Cette considération et la précédente tendent donc à affaiblir l'influence que Berthollet attribuait à la cohésion dans les phénomènes chimiques, influence qui était telle que, *lorsqu'un corps en précipitait un autre*, *ce n'était*

pas toujours un indice d'une supériorité d'affinité ; mais bien de ce que c'était la cohésion que devait prendre le précipité qui déterminait la décomposition.

Des considérations que nous venons de présenter, et qui sans aucun doute sont très-importantes, M. Gay-Lussac en tire la conséquence que la cohésion ne joue qu'un rôle secondaire dans la précipitation, de même que dans la dissolution, et que la précipitation est constamment la preuve d'une plus grande affinité, dont la cohésion ne fait qu'accuser les effets.

Quant aux décompositions par double affinité, M. Gay-Lussac ne partage pas non plus l'opinion de Berthollet. Voici comment il les conçoit. Les précipités formés, dans ces décompositions, ne sont pas les composés les plus stables, ceux qui renferment les acides et les bases les plus puissants ; une foule d'exemples le prouvent. Dès lors on ne peut dire que lors du mélange de deux dissolutions salines, l'acide le plus fort se combine toujours avec la base la plus forte. L'expérience prouve, au contraire, que les sels neutres peuvent faire échange d'acides et de bases indépendamment de leurs affinités réciproques.

D'un autre côté, la solubilité n'étant point affectée par la différence d'attraction moléculaire entre l'état solide et l'état liquide, et l'échange des bases dans les doubles décompositions ayant lieu dans diverses circonstances de solubilité, de densité, de fusibilité, de volatilité, l'une d'elles ne saurait être la véritable cause de l'échange à l'exclusion des autres ; c'est donc un motif pour la chercher ailleurs.

L'échange n'étant déterminé non plus ni par l'affinité réciproque des acides et des bases, ni par les causes secondaires que nous venons de citer, et qui opèrent cependant des séparations, on doit donc admettre que l'échange les précède. Pour satisfaire à toutes ces conditions, M. Gay-Lussac suppose qu'au moment du mélange de deux sels il y a un pêle-mêle général entre les acides et les bases, c'est-à-dire que les acides se combinent indifféremment avec les bases et réciproquement, pourvu que l'acidité et l'alcalinéité soient satisfaites. Cette indifférence de permutation (d'équipollence) établie, les décompositions produites par double affinité s'expliquent avec beaucoup de simplicité. Ainsi, quand on mélange deux sels, il s'en forme deux nouveaux dans des rapports quelconques avec les deux premiers ; et suivant que l'une de ces propriétés, l'insolubilité, la densité, la fusibilité, la volatilité, etc., sera plus prononcée pour les nouveaux sels que pour les sels donnés, il y aura trouble d'équilibre et séparation d'un sel,

quelquefois même de plusieurs. M. Gay-Lussac pense cependant que ce pêle-mêle n'a pas toujours rigoureusement lieu. On sait, en effet, que les molécules d'un composé opposent une certaine force d'inertie au changement, et qu'il faut souvent ou du temps ou un ébranlement pour opérer ce changement; ainsi le sulfate de soude en solution se maintient sursaturé à des températures très-inférieures à celle à laquelle elle devrait commencer à abandonner ce sel. Une solution de sulfate de magnésie et d'oxalate d'ammoniaque ne donne un précipité que longtemps après le mélange; une rapide agitation le produit en quelques secondes.

Il est très-difficile de démontrer l'échange entre les éléments de deux sels dont on mélange les solutions, sans qu'il y ait formation de précipité. On peut s'en assurer cependant dans quelques cas, par exemple, si l'on fait passer dans un mélange d'une dissolution de protosulfate de fer et d'une autre d'acétate de soude un courant d'hydrogène sulfuré, on obtient immédiatement un précipité de sulfure de fer, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant qu'il s'est formé préalablement de l'acétate de fer.

Les arguments puissants que M. Gay-Lussac met en avant pour montrer que la cohésion ne joue pas dans les phénomènes chimiques un rôle aussi important qu'on l'a pensé jusqu'ici, sont de nature à être pris en considération par les physiciens qui s'occupent de l'étude des forces concourant à la formation des corps; mais nous doutons qu'on puisse ériger en loi générale, que tous les phénomènes chimiques soient indépendants de la cohésion, lorsqu'on sait que plus les affinités réciproques entre deux corps sont faibles, plus l'état de division de ces corps doit être grand, c'est-à-dire, plus la force de cohésion doit être diminuée pour qu'elles puissent s'exercer.

Influence de la chaleur.

Quelle que soit la manière dont on envisage l'intervention de la cohésion dans les phénomènes chimiques, il n'en est pas moins vrai que les molécules du corps sont sollicitées par deux forces antagonistes, la cohésion et la chaleur, dont l'une tend à les rapprocher et l'autre à les écarter. Du rapport mutuel de ces forces dépend l'état solide, liquide ou gazeux. Si la première l'emporte et que les axes des particules s'orientent suivant certaines directions, le corps est solide. L'influence qu'exerce cette orientation paraît être la cause des changements de volume ou de densité qui ont lieu dans les phénomènes

de cristallisation, et détermine, à ce qu'il paraît, la stabilité d'équilibre que présente l'agglomération des particules d'un milieu solide, et qui ne peut être vaincue que par des efforts souvent très-considérables. Il résulte de cette disposition des particules à prendre des directions fixes, que lorsqu'on les en écarte, elles y reviennent en effectuant une suite de mouvements oscillatoires, transmis aux masses environnantes.

L'état liquide est caractérisé par une grande diminution dans l'influence qu'exerce la direction des axes sur l'état moléculaire du corps, et par l'augmentation de la quantité de chaleur qu'il contient, ce qui permet aux molécules de tourner les unes autour des autres, sans perdre pour cela leur position d'équilibre. Dans ce cas, la cohésion et la chaleur se balancent. Enfin, si l'orientation des axes n'a aucune influence, ou qu'une influence très-faible sur les conditions d'équilibre des particules, et que l'action de la chaleur l'emporte sur celle de la cohésion, le corps est gazeux. La chaleur favorise en général les combinaisons et les dissolutions en écartant les molécules, en affaiblissant la cohésion. Les rapports intimes qui lient la chaleur et la cohésion sont tels qu'on ne saurait s'empêcher d'admettre que, dans le cas actuel, leur influence ne soit entièrement opposée.

Le degré de chaleur nécessaire pour produire des combinaisons varie non-seulement avec les corps, mais encore avec le même corps, suivant son état moléculaire. Par exemple, pour opérer la combinaison du carbone avec l'oxygène, il faut employer une température d'autant plus élevée que la cohésion est plus considérable; aussi le diamant d'abord, puis la plombagine et l'anthracite exigent-ils pour brûler plus de chaleur que le charbon ordinaire, qui est à tissu lâche.

La chaleur agit-elle seulement en affaiblissant la cohésion, ou bien ne peut-elle pas exalter l'affinité au point d'augmenter son énergie? Les rapports qui lient l'affinité à l'électricité, et d'autres raisons que nous indiquerons plus loin, permettent de répondre affirmativement à la seconde partie de cette question. Ce qui se passe avec l'oxyde d'argent, au surplus, suffit pour montrer le rôle que peut jouer la chaleur. A une certaine température, cet oxyde est réduit; chauffe-t-on jusqu'à fusion et au delà, on arrive à une température où l'argent absorbe ou se combine avec l'oxygène, qui se dégage par le refroidissement. Nul doute que la chaleur ne modifie dans ce cas l'action exercée par l'argent sur l'oxygène. La chaleur n'intervient-elle pas quelquefois aussi pour modifier l'affinité de certains corps quand on les

expose à une température élevée, comme la zircone, les oxydes de chrôme, quelques antimoniates, l'alumine, etc., qui, sans éprouver une diminution de poids, perdent la faculté de se combiner avec les acides faibles ? A la vérité, on peut dire que la chaleur détermine un nouvel arrangement moléculaire qui s'oppose au jeu des affinités; mais cette explication ne détruit pas le fait.

La chaleur produit quelquefois des effets inverses, c'est-à-dire qu'elle s'oppose aux combinaisons, et les détruit même. Ces effets ont lieu quand il existe une grande différence d'expansibilité entre les éléments d'un composé. C'est ainsi qu'à une température suffisante les combinaisons gazeuses de l'hydrogène avec le carbone, le phosphore, le soufre et l'azote, sont décomposées. Il en est de même d'un grand nombre d'oxydes, particulièrement de ceux appartenant aux métaux ayant peu d'affinité pour l'oxygène, et qui sont également décomposés par la chaleur. Les gaz qui n'ont qu'une faible affinité pour l'eau ne s'y dissolvent qu'au-dessous de 100°, et d'autant plus que la température est plus basse; tandis que les autres gaz s'y dissolvent à toutes températures. Nous retrouvons des effets du même genre dans les combinaisons de deux liquides qui ne sont pas volatils au même degré : la chaleur les sépare ; et dans les composés solides renfermant des éléments qui prennent facilement l'état gazeux, les exemples en sont très-nombreux.

Ce n'est pas tout : il arrive encore que lorsque des combinaisons, telles que les substances organiques renfermant plusieurs éléments gaseux, sont détruites par l'action de la chaleur, il se forme de nouveaux composés, et surtout des produits ammoniacaux si ces combinaisons sont azotées. Nous ajouterons que les rapports sont tels entre la chaleur et l'affinité, que lorsque celle-ci n'a pas l'énergie nécessaire pour effectuer une décomposition, la chaleur lui vient en aide. C'est ainsi que le sulfate de baryte, qui n'est décomposé séparément ni par la chaleur ni par l'acide borique à la température ordinaire, l'est par ces deux actions réunies, avec dégagement d'oxygène et d'acide sulfureux.

De l'influence de la quantité.

Cette influence ne se manifeste qu'à l'égard des parties qui composent les proportions définies d'après lesquelles les corps peuvent se combiner. Nous allons en donner de suite quelques exemples pour montrer en quoi elle consiste. Le bicarbonate de potasse, exposé à l'action de la chaleur, laisse échapper la moitié de son poids d'acide

carbonique. La moitié qui reste doit donc être plus fortement attirée par la base que celle qui s'est dégagée. On connaît deux sulfates de potasse dans lesquels l'acide sulfurique est dans le rapport de un à deux. Si l'on traite le premier, qui renferme une proportion atomique d'acide sulfurique, par l'acide nitrique, on aura, d'une part, un sursulfate et du nitrate de potasse. Il y aura donc eu décomposition partielle, puisqu'elle s'est arrêtée après que le sulfate a perdu la moitié de sa base. Concluons de là que la potasse est plus fortement attirée par deux proportions atomiques d'acide que par une seule. On pourrait citer beaucoup d'autres exemples pour prouver l'influence dans les combinaisons, des quantités entrant comme proportions définies dans ces combinaisons. Il est donc bien démontré qu'une proportion atomique d'un corps est plus fortement altérée par 2, 3, etc., proportions atomiques d'un corps antagoniste que par une seule de ces proportions. C'est ainsi qu'il faut envisager aujourd'hui l'intervention de la quantité dans les actions chimiques. Nous ne nous étendrons pas davantage à cet égard, parce que nous avons voulu seulement faire connaître le principe général. Nous renvoyons, pour plus amples développements, aux ouvrages de chimie.

Influence de la pression.

Lorsqu'une substance est soumise à l'action de la chaleur, ou bien lorsque deux substances, en réagissant l'une sur l'autre, à la pression de l'atmosphère, donnent naissance à des composés gazeux, si l'expérience se fait sous une pression telle que les composés ne puissent prendre l'état gazeux, les actions chimiques cessent. Citons quelques exemples. Quand on expose dans un vase de fonte fermé, du carbonate de chaux à une température très-élevée, le dégagement de gaz acide carbonique ne tarde pas à s'arrêter en raison de la pression exercée par le gaz dégagé; le carbonate éprouve alors une demi-fusion, qui lui permet de prendre par le refroidissement une texture cristalline. Si l'on enferme dans un tube très-fort un mélange d'eau, d'acide sulfurique et de limailles de fer, l'eau est d'abord décomposée avec dégagement de gaz hydrogène; mais peu à peu l'action diminue, et quand le gaz exerce une pression de vingt et quelques atmosphères, elle cesse tout à fait.

Lorsque l'on chauffe, dans la marmite de Papin, de l'eau à une température supérieure à celle de l'ébullition, la vapeur ne pouvant s'échapper, exerce naturellement une compression sur le liquide, la-

quelle augmentant avec la température, peut s'opposer à l'évaporation totale du liquide. Dans ce cas, la compression fait équilibre à la force élastique de la vapeur. M. Cagniard la Tour a cherché comment se comportaient dans les mêmes circonstances l'alcool, l'éther sulfurique et l'essence de pétrole rectifiée. Il a introduit à cet effet l'un de ces trois liquides dans de petits tubes qu'il a fermés par les deux bouts. Un de ces tubes, dans lequel on avait mis environ les $\frac{2}{5}$ de sa capacité d'alcool à 36°, a été chauffé graduellement. Le liquide s'est dilaté ; quand son volume a été doublé, le liquide a disparu complétement, et a donné naissance à une vapeur transparente. En laissant refroidir le tube, il s'est formé un nuage épais, et la vapeur s'est liquéfiée. Les autres liquides ont produit des effets analogues ; avec de l'eau remplissant le tiers du tube, ce dernier a perdu sa transparence, et s'est brisé peu de temps après. Le verre a donc été décomposé à une certaine température, en cédant son alcali à l'eau. Cet inconvénient est évité en ajoutant à l'eau une petite quantité de carbonate de soude. A la température de la fusion du zinc, l'eau se maintient sous la forme gazeuse, dans un espace quatre fois plus grand que le volume qu'elle avait d'abord.

M. Cagniard a déterminé la pression qu'exercent l'éther et l'alcool à l'instant où ces liquides se réduisent subitement en vapeur. L'éther prend l'état gazeux dans un espace moindre que le double de son volume primitif ; il exerce alors une pression de 37 à 38 atmosphères dans le tube qui le contient.

Il faut à l'alcool, pour se réduire en vapeur, un espace un peu moindre que 3 fois son volume primitif. La pression qu'il exerce alors est de 119 atmosphères. La température de l'éther quand il passe en vapeur est de 160°, tandis que celle de l'alcool est de 207°.

Suivant les idées de Laplace, qui sont généralement adoptées, la forme qu'affecte un corps dépend du rapport de trois forces qui doivent être prises en considération : 1° de l'attraction de chaque molécule pour les molécules qui l'entourent, et dont l'effet est de les rapprocher sans cesse les unes des autres ; 2° de l'attraction de chaque molécule pour la chaleur qui entoure les molécules situées dans son voisinage ; 3° de la répulsion entre la chaleur qui entoure chaque molécule, et celle qui enveloppe les molécules voisines, laquelle tend à les désunir. Dans les effets précédents, il faut avoir égard à ces trois forces qui luttent continuellement et dont il n'est guère possible de prévoir les effets *à priori*.

De la mesure des affinités.

Lorsqu'une force est simple, rien n'est plus facile que de mesurer les différents degrés de son intensité; mais lorsqu'elle agit concurremment avec d'autres forces qui favorisent ou contrarient ses effets, sans qu'on puisse savoir jusqu'où s'étendent ces modifications, alors la question change de face et devient des plus complexes : c'est le cas de l'affinité. Cette force est effectivement sans cesse aux prises avec la chaleur, la cohésion (l'influence de cette dernière est à la vérité contestée), l'électricité et même dans un grand nombre de cas avec la lumière. D'un autre côté, nous savons que l'affinité n'exerce point son action au même degré dans des corps différents. En effet, le fer, l'argent, etc., ont plus d'affinité pour le soufre que n'en a le mercure; de là l'ancienne dénomination d'affinité élective donnée à l'affinité en vertu de laquelle un corps en présence de deux autres se porte de préférence plutôt vers l'un que vers l'autre. Le sulfate de magnésie en solution est décomposé par la chaux, de même que le sulfate de potasse par la baryte; il faut donc que l'acide sulfurique, d'une part, soit doué d'une plus forte affinité pour la chaux que pour la magnésie; de l'autre, pour la baryte que pour la potasse. Mais ces affinités ne sauraient être considérées d'une manière absolue, car on ne peut les séparer de la nature du dissolvant, de ses proportions, de la température à laquelle les corps réagissent, etc. Ce sont ces causes qui compliquent tellement la question de la mesure des affinités, qu'elle n'a pu être encore résolue. Nous verrons si l'électro-chimie peut nous fournir les moyens d'y parvenir.

Des rapports entre l'affinité et l'électricité.

Pour traiter complétement cette question, il faudrait avoir exposé les phénomènes résultant de l'action chimique de l'électricité sur les corps; mais ce que nous en avons dit dans l'introduction suffira pour l'intelligence de ce qui va suivre.

L'action des particules hétérogènes les unes sur les autres et la permanence de leur union dans les combinaisons, ainsi que l'action mutuelle des molécules similaires, sont-elles dues à des forces électriques ou bien à des forces inconnues dépendantes ou non des premières? Telle est la grande question qui occupe depuis quarante ans, et qui occupera peut-être longtemps encore les physiciens et les chimistes. Dans notre *Traité de l'électricité*, t. VI, 1re partie, pag. 333 et sui-

vantes, nous avons exposé avec de grands développements les opinions successivement émises à ce sujet et que nous avons combattues à l'aide de faits nouveaux. Il est donc inutile d'y revenir. Nous allons examiner seulement la question telle qu'on doit la considérer aujourd'hui.

Tous les faits observés jusqu'ici portent à croire que la chaleur est formée de la réunion des deux électricités, en supposant toutefois qu'elle se change en ces deux électricités toutes les fois que son mouvement dans les corps est brusquement arrêté, et *vice versa*, c'est-à-dire que l'électricité en mouvement devient chaleur lorsqu'elle rencontre des obstacles qui s'opposent à sa libre propagation, de même que la chaleur se change en électricité quand elle rencontre un obstacle. D'un autre côté, les effets électriques produits dans toutes les actions chimiques, et les lois auxquelles ils sont soumis, ainsi que l'action décomposante de l'électricité, nous prouvent qu'il existe des rapports intimes entre les affinités et les forces électriques, et une dépendance mutuelle telle qu'à l'aide des affinités on peut faire naître les forces électriques, et réciproquement. Sans rappeler tout ce que nous avons exposé touchant le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques, nous dirons que l'électricité dégagée dans le cas actuel est un effet résultant de l'action des affinités, effet qui reparaît, mais en sens inverse, dans les décompositions, et qui annonce en même temps un état électrique moléculaire indispensable à la permanence de l'union des particules dans les composés, puisque en faisant disparaître cet état on détruit les combinaisons. Si l'on avait un moyen exact de mesurer l'électricité associée aux molécules, on pourrait comparer les affinités des corps, puisque la relation est telle entre les forces électriques et l'affinité, que lorsqu'on affaiblit l'action des premières, on diminue dans le même rapport l'action des secondes, et qu'en anéantissant les unes on détruit les autres. Il existe donc entre elles un rapport tel, que les unes ne peuvent exister sans les autres. Dans l'état actuel de la science, tout tend à prouver que les atomes ou particules élémentaires des corps sont associées à une certaine quantité d'électricité naturelle qui fait partie de leur essence, et qu'elles ne sauraient perdre sans cesser d'exister, ou du moins sans que leurs propriétés chimiques soient modifiées d'une manière quelconque. Lorsqu'un atome est uni à un autre, il possède donc, outre l'électricité qui sert au maintien de la combinaison, une certaine quantité d'électricité naturelle disponible, selon le rôle qu'il joue dans la combinaison. Nous sommes fondé à croire que l'attraction des

deux électricités contraires qui se manifestent à l'instant où l'affinité agit entre deux atomes est la cause de l'union de ces deux atomes, et par conséquent du maintien de la combinaison. Ainsi, par exemple, dans la combinaison d'un atome d'oxygène avec un atome d'hydrogène, le premier est éminemment négatif, le second éminemment positif; et les deux électricités possédées par ces deux atomes sont dissimulées sans pouvoir passer de l'un dans l'autre, effet semblable à celui que nous présente l'électrophore, dans lequel le plateau de résine et le disque de métal possèdent chacun une électricité contraire, qui est dissimulée par l'action de l'autre. En admettant cet état de choses, on explique tous les phénomènes électro-chimiques observés jusqu'ici; mais il ne faut pas perdre de vue cependant que l'état électrique de chaque atome ne précède pas l'action de l'affinité, mais la suit au contraire, ce qui exclut l'idée d'une électricité positive ou négative propre à l'atome avant sa combinaison, comme le pensait M. Ampère.

Les expériences de M. Faraday tendent à montrer la haute condition électrique des molécules de la matière dans les combinaisons, et l'identité de leur quantité d'électricité avec celle qui est nécessaire à leur séparation, de telle sorte que l'action chimique exercée sur un équivalent de zinc, dans un simple couple voltaïque fonctionnant avec de l'eau acidulée, est capable de développer une quantité d'électricité suffisante, sous forme de courant, pour décomposer un équivalent de cette substance. On voit par là que la quantité d'électricité associée aux particules de la matière, et qui leur donne le pouvoir de se combiner, est capable, lorsqu'elle est sous forme de courant, de séparer ces particules de leur état de combinaison, c'est-à-dire que l'électricité qui décompose et celle produite par la décomposition d'un certain volume de matière, sont égales.

D'après l'accord qui règne entre la théorie des proportions définies et celle de la théorie électro-chimique, on ne peut s'empêcher de considérer les parties équivalentes des corps comme des volumes de ces corps, contenant d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Ainsi, les atomes des corps possèdent des quantités égales d'électricité quand ils sont combinés. Cette manière de voir ne doit pas être considérée comme une simple hypothèse, mais bien comme une représentation exacte des faits.

La théorie électro-chimique peut servir à éclaircir plusieurs points de la chimie. En effet, le principe de l'antagonisme introduit dans la science par Lavoisier, et qu'on a cherché à attaquer dans ces derniers temps, est mis en évidence par les décompositions électro-chimi-

ques; car l'expérience prouve que toutes les fois qu'un courant voltaïque ayant une énergie suffisante, traverse une dissolution capable d'être décomposée, les éléments transportés aux deux pôles opposés forment deux groupes parfaitement distincts, deux antagonistes, l'un renfermant les éléments acides ou se comportant comme tels, et l'autre les éléments alcalins ou agissant comme tels. Sans entrer dans le fond même de la discussion à l'égard des combinaisons par antagonisme, nous ferons remarquer que si ce mode de combinaison n'existait pas, comment se ferait-il que les décompositions électro-chimiques de différents composés organiques ou inorganiques présentassent toujours cette particularité de s'effectuer en deux parties distinctes jouissant de propriétés opposées, et qui, réunies par l'action des affinités ou celle des forces électriques, quand il n'y a pas eu formation de produits secondaires, reproduisent ces mêmes composés. Cette propriété ne porte-t-elle pas avec elle, dans les combinaisons, le caractère d'un partage entre deux éléments antagonistes, tel qu'on l'a considéré jusqu'ici? A la vérité, les composés organiques se prêtent difficilement à la décomposition électro-chimique, attendu que la plupart ne se laissent pas traverser par le courant, et que ceux qui lui livrent passage donnent naissance à des produits secondaires qui ne permettent pas toujours de reconnaître les effets directs de l'action décomposante du courant.

Les décompositions électro-chimiques nous montrent dans les substitutions quand un élément électro-positif est remplacé par un élément électro-négatif, sans pour cela que les propriétés fondamentales du composé soient changées. Prenons pour exemple l'acide acétique, dans lequel un atome d'hydrogène peut être remplacé par un atome de chlore, d'où résulte l'acide chloro-acétique dont les propriétés fondamentales sont les mêmes que celles du premier acide. On peut se demander si, dans ce cas, l'électro-chimie peut faire connaître ce changement, c'est-à-dire, si le radical, électro-négatif a été remplacé par un radical électro-positif. L'atome d'hydrogène et l'atome de chlore sont entourés d'une certaine quantité d'électricité naturelle qui est décomposée à l'instant où les affinités s'exercent, de telle sorte que chaque atome peut devenir positif ou négatif, suivant le rôle qu'il joue dans la combinaison. Si l'on soumet à l'action du courant l'acide chloro-acétique, on trouve que le chlore se porte au pôle positif, tandis que toutes les autres parties constituantes de l'acide se rendent au pôle négatif, où elles forment un produit secondaire. L'antagonisme est donc bien établi; mais doit-on considérer

alors l'acide comme un composé de ce produit et de chlore? C'est une question que nous laissons à résoudre aux chimistes.

En exposant l'action décomposante de l'électricité, nous ferons connaître l'influence des masses et le moyen à l'aide duquel on peut espérer arriver à la mesure des affinités.

CHAPITRE VI.

Des phénomènes capillaires.

Les corps organisés sont formés de parties différentes, chargées chacune d'accomplir des fonctions qui sont indispensables au maintien de la vie. Ces parties, solides ou molles, sont pénétrées de liquides de diverse nature, qui circulent dans leur intérieur sans se mêler, du moins entre certaines limites, quoiqu'il y ait des effets capillaires, des effets d'endosmose, qui résultent d'actions ayant lieu au contact des solides et des liquides. Il est très-important de reconnaître pour quel motif les liquides divers qui circulent dans les conduits sans nombre des corps organisés ne se mêlent pas entre eux. On dit avec raison que l'organisation de chaque individu, animal ou végétal, est telle que cette mixtion ne peut s'opérer sous l'empire de la vie; mais encore est-il qu'il existe des causes physiques mises en jeu dans cette circonstance, et qui concourent à l'effet général. Nous devons donc les étudier avant toutes choses. Commençons par les effets capillaires considérés de la manière la plus générale : d'abord sous le rapport des forces qui les produisent, puis sous celui de leur intervention dans les phénomènes naturels.

Toutes les fois qu'un corps solide est en contact avec un liquide, et qu'il est mouillé par lui, il se manifeste une action attractive, en vertu de laquelle il y a adhérence entre ces deux corps. C'est ainsi que se comporte le verre par rapport à l'eau, à l'alcool et aux huiles. Cette force attractive a la plus grande analogie avec celle qui produit les affinités; comme elle, elle détermine des actions chimiques; c'est ainsi que le charbon et différents corps poreux jouissent de la propriété, quand on les plonge dans de l'eau colorée par une infusion de bois de campêche, de tournesol, etc., d'enlever la matière colorante, par suite d'une plus grande affinité de celle-ci pour le corps poreux que pour l'eau.

On doit donc considérer l'action moléculaire produite dans cette circonstance comme du même ordre que celle qui détermine les actions chimiques. L'action moléculaire produite au contact des solides et des liquides joue donc un certain rôle dans les phénomènes de la vie, surtout quand il en résulte des effets chimiques. Cette même action est une des causes auxquelles il faut attribuer l'élévation des liquides dans les tubes capillaires.

Une masse d'eau qui n'est sollicitée que par la pesanteur prend un état d'équilibre tel que sa surface supérieure est perpendiculaire à la direction de la pesanteur, c'est-à-dire qu'elle est horizontale; car si cette surface était inclinée, on pourrait décomposer la gravité en deux autres forces, l'une dirigée dans le sens du plan, l'autre perpendiculaire à ce plan : la première aurait pour effet de faire descendre les molécules de l'eau le long du plan, jusqu'à ce qu'elles fussent en équilibre; la seconde ne saurait imprimer aucun mouvement, puisqu'elle serait détruite par la résistance du plan. Or, comme les molécules de la surface, d'après les suppositions, sont en équilibre, elles ne sauraient donc se trouver sur un plan incliné; dès lors ce plan est horizontal. Mais cet état d'équilibre est troublé dès l'instant qu'on plonge un corps dans l'eau. Si ce corps est une lame de verre, l'eau s'élève un peu au-dessus de son niveau de chaque côté de la surface de la lame, de manière à former deux surfaces cylindriques; si l'on opère avec un tube de verre creux d'un très-petit diamètre, l'eau s'élance dans l'intérieur à une hauteur plus ou moins grande, suivant le diamètre du tube, tandis qu'à l'extérieur on observe un effet semblable à celui que présente la lame. Tous les corps qui sont mouillés par l'eau, comme le verre, se comportent de même; mais les effets sont inverses avec des corps qui ne sont pas mouillés par des liquides, tels que le mercure; il y a alors abaissement au-dessous de son niveau. Tel est l'énoncé des phénomènes capillaires dont nous allons rappeler les principes généraux.

L'expérience démontre qu'un même liquide s'élève à la même hauteur dans des tubes de nature différente, mais de même diamètre, pourvu que leurs parois soient mouillées.

Si les tubes sont de même nature et que les diamètres soient différents, les hauteurs auxquelles s'élève le liquide sont sensiblement en raison inverse des diamètres.

D'après cela, avant d'expérimenter, il faut nettoyer les surfaces intérieures afin de les rendre plus aptes à être mouillées. On y introduit à cet effet des acides ou de l'alcool, suivant la nature des im-

puretés qu'on suppose y adhérer. On les lave ensuite avec soin, et on les mouille dans toute leur longueur avec le liquide sur lequel on veut opérer. Après cette préparation, on détermine le diamètre des tubes en y introduisant du mercure, mesurant avec exactitude la hauteur de la colonne et pesant ensuite le mercure.

L'abaissement du mercure dans les tubes capillaires est soumis à la même loi.

On peut obtenir l'élévation du mercure au-dessus de son niveau, en opérant comme l'a fait Casbois, à Metz, en 1780, de manière à le faire adhérer au verre; dans ce cas, on rentre dans le fait général. Il suffit pour cela de faire bouillir pendant très-longtemps le mercure dans le tube. Il se forme pendant l'ébullition un oxyde qui se dissout dans le mercure, et donne à ce dernier la faculté de mouiller le verre. Si l'on observe la forme de la surface supérieure du mercure dans les deux cas, on voit qu'avant l'ébullition cette surface était convexe, que la convexité a été en diminuant, et qu'elle est devenue ensuite sensiblement concave. De là on tire cette conséquence, que la hauteur du liquide dans les tubes capillaires est en rapport avec la forme de la surface supérieure. Pour mieux étudier cette relation, nous citerons l'expérience suivante. Si l'on sèche l'intérieur d'un tube de verre et qu'on le plonge ensuite dans du mercure également bien sec, la convexité qui termine la colonne de mercure n'est plus sensible; mais si l'on introduit une seule goutte d'eau dans le tube, l'abaissement du mercure a lieu aussitôt, et la surface devient convexe.

Si, avant l'immersion d'un tube capillaire dans l'eau, on enduit sa surface d'une matière grasse qui l'empêche de se mouiller, l'eau s'abaisse d'abord, puis remonte, mais à une hauteur moindre que lorsque les parois pouvaient être mouillées.

Citons encore quelques faits généraux qui éclaireront sur les causes auxquelles on doit rapporter les effets capillaires. Pour le même liquide, les différences de niveau paraissent être en raison directe des densités. Les liquides néanmoins n'agissent pas suivant leur densité, car l'alcool et les huiles, qui ont une pesanteur spécifique moindre que l'eau, s'élèvent moins qu'elle.

Les effets capillaires ne sont point modifiés quand on varie l'épaisseur du verre sans changer le diamètre intérieur des tubes. Ce fait prouve évidemment que l'action qui les produit ne s'étend qu'à une distance infiniment petite de la surface; ainsi donc, au delà d'une certaine limite d'épaisseur du verre, limite qui ne peut être appréciée

par l'expérience, l'addition de couches matérielles n'exerce plus aucune influence sur les effets.

On tire encore la conséquence de ce que l'élévation d'un liquide est la même dans des tubes de nature différente, pourvu que le diamètre soit le même, que le phénomène capillaire ou l'élévation de l'eau doit être rapporté encore à l'action de la petite couche liquide adhérente aux parois sur le liquide lui-même. Cette couche, qui est infiniment mince, suffit pour écarter l'influence des parties matérielles dont les tubes sont formés.

L'action de la couche d'eau sur l'eau environnante est analogue à celle qui est employée pour rompre l'adhérence qui est produite quand des disques sont mis en contact avec ce liquide.

Dans l'explication des phénomènes capillaires, on doit donc avoir égard : 1° au diamètre des tubes ; 2° à la propriété dont jouissent leurs parois d'être mouillées ou non ; 3° à l'action de la couche liquide adhérente à la paroi sur le liquide environnant ; 4° à la figure de la surface terminale de la colonne. Nous renvoyons, pour ce qui concerne l'explication des phénomènes capillaires, à l'introduction historique, t. I, p. 200.

Les phénomènes capillaires permettent de mesurer, avec une certaine précision, la cohésion qui unit les molécules des liquides ; il faut appeler à son aide pour cela l'expérience et le calcul. Des disques de nature quelconque dont la surface est mouillée, adhérant tous également au liquide sur lequel on les applique, on admet que la force nécessaire pour rompre l'adhérence est précisément celle qui mesure la cohésion du liquide. Voici comment on obtient cette mesure :

Soit un disque circulaire en verre, suspendu par son centre au moyen d'un fil fixé à l'une des extrémités d'un fléau de balance, maintenu dans une position horizontale au moyen de poids placés dans le plateau qui se trouve à l'autre extrémité. Supposons ce disque mis en contact avec un liquide et soulevé graduellement en augmentant peu à peu le poids qui fait équilibre, le liquide situé au-dessous du disque s'élèvera en même temps jusqu'à une certaine hauteur, à laquelle parvenu il se détachera du disque et reprendra son niveau naturel ; le poids mesure la cohésion.

Voyons maintenant comment on peut déduire du calcul la valeur du poids, quand on connaît l'élévation du liquide dans des tubes capillaires dont le diamètre est connu.

D'après la théorie de Poisson, en employant un disque qui soit mouillé par le liquide, le poids nécessaire pour vaincre l'adhérence est

précisément celui du liquide soulevé par le disque, c'est-à-dire le poids d'un cylindre du même liquide qui aurait pour base celle du disque, et pour hauteur l'élévation de ce liquide au-dessus du niveau ; et cela par la raison que le volume du liquide soulevé, situé en dehors de ce cylindre, compense exactement le rétrécissement du liquide situé au dessous du disque et provenant de la courbure de la surface capillaire. On a dans ce cas pour le poids

$$p = \pi m \left(a r^2 \sqrt{2} - \frac{a^2 r}{3} \right),$$

en négligeant les termes divisés par r^3, r étant supposé assez grand.

Dans cette formule

p est le poids nécessaire pour vaincre l'adhérence;

m, poids d'un centimètre cube de liquide;

π, rapport de la circonférence au diamètre;

r, rayon du disque;

a, quantité dépendante de l'élévation du liquide dans un tube capillaire est donnée par cette équation :

$$h = \frac{a^2}{\alpha} - \frac{\alpha}{3} + \frac{\alpha^3}{3 a^2} (\log. 4 - 1).$$

h est l'élévation du liquide dans le tube capillaire;

α, le rayon du tube.

D'après les expériences de M. Gay-Lussac, on a dans le cas de l'eau

$r = s^{\text{cm.}},9163$ $a^2 = 0^{\text{cm.}},151299^{\text{mm. c.}}$ à la température ordinaire.

Les équations précédentes établissent la relation qui existe entre p et h, et l'on a $p = 59^{\text{gr.}},568$.

La première formule représente avec assez d'exactitude les résultats trouvés par M. Gay-Lussac pour l'eau et trois mélanges d'alcool. Nous donnons ici les hauteurs auxquelles se sont élevés dans un tube capillaire dont le rayon α était égal à $0^{\text{cm.}},06472$, l'eau et trois alcools dont les densités étaient égales à 0,81961 ; 0,85950 ; 0,94153, celle de l'eau étant 1. Ces hauteurs sont

$$h = 0^{\text{c.}},91823, h' = 0^{\text{c.}},93008, h'' = 0^{\text{c.}},99973.$$

A l'aide de la formule qui donne p, on a pour l'eau, $p = 59^{\text{gr}},568$, et pour l'alcool, $p = 31^{\text{gr}},137$, $p' = 32^{\text{gr}},878$, $p'' = 37^{\text{gr}},273$; tandis que M. Gay-Lussac a trouvé, par l'expérience, pour l'eau, $p = 59^{\text{gr}},40$, et pour l'alcool, $p = 31^{\text{gr}},08$, $p' = 32^{\text{gr}},87$, $p'' = 37^{\text{gr}},15$. L'accord est aussi satisfaisant qu'on puisse le désirer.

Si nous nous reportons à la formule qui donne la valeur de p, nous voyons que p est en raison directe de m, c'est-à-dire que plus la densité du liquide augmente, plus p est considérable. Or, dans les expériences dont il va être question ci-après, il est prouvé que p diminue beaucoup plus rapidement que la densité; car, de 10° à 70° cent. de température, p diminue de près d'un quart de sa valeur, tandis que la densité ne diminue pas de $\frac{2}{100}$. Ainsi la formule ne paraîtrait pas s'appliquer dans tous les cas; il faut donc, avant de se prononcer sur une question aussi délicate, étudier avec beaucoup d'exactitude l'élévation de l'eau à diverses températures dans un tube capillaire; c'est ce que nous nous proposons de faire avec M. Edmond Becquerel. En attendant, nous rapporterons les résultats que nous avons obtenus ensemble en cherchant, par le procédé ci-dessus indiqué, la valeur de p pour l'eau à mesure que l'on élève sa température. Voici les moyennes d'un grand nombre d'expériences :

Température de l'eau.	Poids employés pour détruire l'adhérence d'un disque de verre de 8 cent. de diamètre.
12° cent.	25,453
31	23,909
37	21,992
59	20,450
73	19,255

Ces résultats ne conduisent jusqu'ici à aucune loi; ce ne sera qu'en multipliant les expériences qu'on pourra connaître celle qui les lie. En attendant, l'on voit que la cohésion de l'eau diminue assez rapidement de 12° à 73°.

En terminant les considérations générales que nous avons présentées sur les phénomènes capillaires, nous dirons quelques mots sur les vues de Laplace, relativement aux relations existant entre les actions capillaires et les actions chimiques.

Si l'on compare l'accord qui existe entre les phénomènes capillaires et les résultats de la loi d'attraction des molécules des corps décroissant très-rapidement, de manière à devenir insensible aux plus petites distances perceptibles à nos sens, on trouve cet accord tellement satisfaisant, qu'il rapproche complétement les phénomènes capillaires des actions à petite distance. Cette loi doit être celle qui régit les affinités chimiques, puisque, comme la pesanteur, elle ne s'arrête pas à la surface des corps et pénètre, en agissant au delà du contact, à des distances imperceptibles. On peut y rattacher différents phénomènes produits dans les phénomènes chimiques. La figure des molécules, la cha-

leur et d'autres causes, doivent modifier les effets de cette loi générale.

Suivant Laplace, l'état solide dépend de l'attraction des molécules combinées avec leur figure, en sorte qu'un acide, quoique exerçant sur une base une moindre attraction à distance que sur une autre, se combine et cristallise de préférence avec elle, si par la forme de ses molécules son contact avec cette base est plus intime. Enfin, dit-il, tout porte à croire que dans l'état gazeux des molécules, non-seulement l'influence de la figure des molécules, mais encore celle de leur force attractive sont insensibles par rapport à la force répulsive de la chaleur. Ces molécules ne paraissent être alors qu'un obstacle à l'expansion de cette force, car on peut, sans changer la tension d'un volume donné d'un gaz quelconque, substituer à plusieurs de ces molécules disséminées dans ce volume, un pareil nombre de molécules d'un autre gaz; ces vues générales sont encore admises aujourd'hui. Nous allons nous occuper actuellement des effets capillaires dans les corps qui ne donnent pas lieu à des phénomènes d'endosmose, et par conséquent dans la plupart des corps inorganisés ; attendu qu'en ce qui concerne les corps organisés nous ne pourrons le faire qu'après avoir exposé la théorie de l'endosmose.

Des effets capillaires dans les corps inorganisés.

On doit rapporter à la capillarité l'action absorbante que les corps poreux, quelle que soit leur nature, exercent sur les liquides qui les mouillent. En effet, leurs interstices ne sont autres que des espaces capillaires dans lesquels un liquide monte en vertu des actions combinées du liquide sur le corps, et des molécules du liquide sur elles-mêmes. Nous allons étudier les principaux effets de la capillarité, d'abord dans les corps de la nature inorganique.

L'intensité de l'action absorbante exercée par un corps sur un liquide dépend nécessairement de la forme et de la grandeur des pores de ce corps, de l'attraction qu'exercent ses parties sur l'air qui les remplit, et de l'action du corps sur le liquide et du liquide sur lui-même ; le phénomène est donc très-complexe.

Pour montrer de suite l'influence des pores, nous dirons que tous les corps poreux ne jouissent du pouvoir absorbant qu'autant que les pores ne dépassent pas certaines dimensions dont la limite n'a pas encore été déterminée. Des calcaires à tissu lâche, tels que ceux des environs de Paris, se laissent imbiber très-facilement; tandis que les

calcaires compactes, le marbre, le spath d'Islande, etc., sont privés de cette faculté, de même que les corps régulièrement cristallisés, les métaux, etc. Néanmoins, sous une très-forte pression, ces derniers obéissent aux lois de la capillarité. C'est ainsi que l'on est parvenu à injecter des huiles siccatives dans des tuyaux de fonte pour les préserver de l'action corrosive des eaux acidules qu'ils sont destinés à conduire. On peut, par le même moyen, faire passer du mercure à travers une planche de bois épaisse. C'est à cette cause qu'il faut rapporter les effets que présentent, en se refroidissant, des mattes très-denses, renfermant du cuivre métallique; de toutes parts apparaissent à la surface des filaments de cuivre, comme si ce métal avait passé dans une infinité de petites filières. Quelquefois les phénomènes d'absorption déterminent des décompositions quand ils sont produits dans des dissolutions renfermant des substances réunies en vertu de faibles affinités. L'action capillaire peut donc, en certains cas, vaincre les affinités chimiques, d'où résulte un dégagement de gaz, un précipité ou une nouvelle dissolution.

Le charbon animal, produit de la calcination du sang desséché, de la corne, etc., avec du sous-carbonate de potasse, puis lessivé, se trouve, en raison de son grand état de division, dans les meilleures conditions pour produire les effets d'absorption avec ou sans action chimique. On n'a pas encore formé le tableau de toutes les substances qui peuvent être séparées lors de l'absorption; nous savons seulement que le charbon animal préparé agit de préférence sur les matières colorantes et odorantes, telles que le bois de Fernambouc, le tournesol, le principe colorant du vin, la couleur brune qui colore les dissolutions de salpêtre, le suif, le sucre, etc.; les huiles empyreumatiques, les exhalaisons fétides, etc. Calciné, il ne possède plus le même pouvoir d'absorption, se trouvant alors converti en charbon à grains serrés; mais si on lui fait subir une seconde calcination avec le sous-carbonate de potasse ou de soude, pour détruire les matières organiques et diviser ses parties, il redevient actif comme auparavant. Le charbon de bois se comporte de même, mais à un degré moindre, et possède aussi la propriété d'absorber les gaz simples ou composés, surtout s'il a été plongé rouge dans un bain de mercure.

On doit à M. Th. de Saussure une série d'expériences sur le pouvoir absorbant du charbon de bois plongé à une température de + 12° et sous une pression de 76 centimètres dans différents gaz. Ce corps absorbe autant de fois le volume de gaz que l'indiquent les nombres suivants :

Gaz ammoniac	90	Gaz carburé tétrahydrique	35
— acide hydrochl	85	— oxyde carbonique	9,42
— acide sulfureux	65	— oxygène	9,25
— sulfurique	55	— nitrogène	7,5
— oxyde nitreux	40	— hydrogène	1,75
— acide carbonique	35		

Le charbon ne devant ses propriétés qu'à sa porosité, il en résulte que, lorsqu'il est mouillé, il ne doit plus absorber autant de gaz; l'expérience a prouvé qu'il n'en prend plus que la moitié. Par la même raison, si l'on vient à verser de l'eau sur un charbon saturé de gaz, il s'en dégage une partie. Dans ce cas, M. Th. de Saussure a trouvé que le gaz dégagé se trouve dans les proportions suivantes :

17	vol. de gaz acide carbonique.
3,25	d'oxygène.
6,50	d'azote.
1, 1	d'hydrogène.

Les phénomènes d'absorption étant toujours accompagnés d'un dégagement de chaleur (1), il y a nécessairement condensation du gaz. Le charbon saturé de gaz placé sous le récipient d'une machine pneumatique dans lequel on fait le vide, produit un abaissement de température dû à ce que les gaz reprennent leur état élastique.

La propriété d'absorber les gaz appartient à tous les corps poreux; nous citerons l'écume de mer, le bois poreux qui condense plus d'hydrogène que les autres corps relativement à leur faculté absorbante générale. La porosité est une condition essentielle, avons-nous dit, mais elle a ses limites, car des pores trop grands ou trop petits ne condensent pas. Ainsi, le charbon de liége, dont les pores sont très-ouverts, n'absorbe rien, de même que la graphite, qui au contraire a des pores très-resserrés. Le charbon de sapin a un pouvoir absorbant moitié de celui du charbon de bois. Si l'on détruit une grande partie des pores par la pulvérisation, on anéantit en même temps la faculté absorbante. Il n'est pas inutile de rapporter ici quelques autres effets généraux : pour des mélanges de gaz, les quantités absorbées sont en raison composée de leur attraction pour les corps; si l'un de ces derniers, déjà saturé de gaz, est introduit dans un autre gaz, celui-ci chasse une partie de l'autre pour prendre sa place; la quantité de gaz absorbée est plus grande quand ils sont mélangés que pris isolément; peut-être dans ce

(1) Premier volume de cet ouvrage, t. I, p. 537.

cas les affinités exercent-elles une certaine influence. Ce résultat a été confirmé sur l'hydrogène et l'oxygène d'une part, l'acide carbonique et l'oxygène de l'autre. Cependant, si les affinités interviennent, il devrait s'opérer des combinaisons, ce qui est très-rare, comme on pourra s'en convaincre en expulsant le gaz par la chaleur ; il faut en excepter toutefois l'hydrogène sulfuré et l'oxygène, qui donnent de l'eau et un dépôt de soufre.

Infiltration et absorption des liquides.

Les substances argileuses, calcaires et autres plus ou moins poreuses, en absorbant des liquides qui tiennent en dissolution divers sels, déterminent la formation de divers composés qui servent à nous expliquer certains phénomènes géologiques dont nous allons parler.

Les infiltrations des eaux chargées d'air et de gaz acide carbonique à travers certaines roches, amènent souvent la décomposition de ces roches, surtout de celles à base de chaux ou qui renferment des sulfures métalliques ou des substances capables d'être oxydées. Les calcaires à tissus lâches, comme ceux des environs de Paris, se trouvent dans ce cas; non-seulement ils éclatent en hiver quand ils sont pénétrés d'eau, mais encore les eaux dissolvent continuellement du carbonate de chaux, qu'elles déposent dans des cavités sous forme de stalactites, de concrétions, etc.

Il existe des sources d'eau ferrugineuse qui renferment du carbonate de chaux et de l'oxyde de fer tenus en dissolution par l'intermédiaire du gaz acide carbonique. Quand cette eau traverse lentement par infiltration des lits de sable ou de graviers qui permettent le dégagement du gaz, il se forme dans les interstices un dépôt d'oxyde de fer et de carbonate de chaux.

Tantôt ces deux substances cimentent les petits grains de quartz et forment de véritables poudding, tantôt il en résulte une masse d'une structure incohérente et lâche.

Il est probable que l'action en vertu de laquelle les coquilles, les bois sont changés en carbonate de chaux, en silice, même en oxyde de fer, est due à l'action d'un liquide qui, ayant pénétré dans l'intérieur de ces corps par infiltration, a détruit les parties organiques et laissé à leur place les substances qu'il tenait en dissolution. Il est des dépôts modernes de ces coquilles, traversés par des solutions calcaires ou siliceuses, et qui n'ont éprouvé dans le cours de plusieurs siècles d'autre altération que la perte de leur matière animale. Il en est d'autres dans

lesquels la coquille a disparu, ne laissant qu'une empreinte de sa forme extérieure, ou un moule de forme intérieure, ou une contre-empreinte de la coquille elle-même, la matière dont elle était formée ayant été dissoute. On peut rendre compte de ces différents effets en examinant la vase récemment retirée d'un étang renfermant des coquilles. Quand cette vase est argileuse et qu'elle est sèche, en la rompant on voit que la coquille a laissé l'empreinte de sa forme extérieure. En enlevant la coquille, on trouve qu'elle contient un noyau solide d'argile qui a la forme de l'intérieur, et diffère souvent de l'extérieur. Quand l'espace qui se trouve entre le noyau et l'empreinte, au lieu de rester vide, se trouve rempli de spath calcaire, de pyrites ou de tout autre minerai, le moule est une représentation exacte de la forme tant extérieure qu'intérieure de la coquille.

Quant aux coraux et coquilles de nature calcaire et qui sont ensuite changés en silice tout en conservant leur organisation, comme on peut s'en convaincre au microscope, cette métamorphose doit être attribuée à l'infiltration d'eaux chargées de silice et de gaz acide carbonique, qui ont enlevé le calcaire au moyen de l'acide, et qui ont laissé à la place la silice.

Le professeur Gopper de Breslaw a fait quelques expériences pour imiter l'action en vertu de laquelle s'opèrent les transformations appelées pétrifications. Il a fait tremper, à cet effet, diverses substances animales et végétales dans de l'eau tenant en dissolution des composés calcaires, siliceux et métalliques. Au bout de quelque temps, ces corps étaient en partie minéralisés. C'est ainsi que des tranches très-minces verticales de sapin d'Écosse, ayant été plongées dans une solution assez concentrée de sulfate de fer, puis séchées et exposées à une chaleur rouge, jusqu'à ce que la matière végétale fût consumée entièrement et qu'il ne restât que l'oxyde de fer, la tranche conservait toute son organisation : vue au microscope, on apercevait jusqu'aux vaisseaux pointillés particuliers à cette famille de plantes.

On peut citer comme preuve à l'appui des propriétés absorbantes de certaines roches alumineuses et calcaires, la présence de dendrites ou herborisations de peroxyde de manganèse que l'on trouve dans l'intérieur des masses argileuses ou calcaires que l'on brise. Ces dendrites n'ont pu être formées que par des dépôts faits par des liquides qui se sont introduits par les fissures ou les pores de la substance, mais particulièrement par les fissures, attendu que ces herborisations occupent souvent une grande étendue. L'eau s'étant vapori-

sée, les substances tenues en dissolution se sont déposées ou ont cristallisé, suivant la promptitude de l'action.

L'argile est perméable à l'eau, non-seulement dans son état ordinaire, mais encore quand elle a éprouvé un certain degré de température, qui ne va pas jusqu'à la fusion, surtout quand elle renferme de la chaux ou d'autres substances capables de la vitrifier. La porcelaine qui n'a été exposée qu'à une température rouge modérée, s'humecte assez pour que les courants électriques puissent la traverser. Aussi se sert-on aujourd'hui, avec le plus grand avantage, de ces vases pour la confection des piles à courants constants et autres appareils électro-chimiques destinés à reproduire des substances analogues à celles que l'on trouve dans la terre, ainsi que des produits que le chimiste n'a pas toujours la possibilité de produire.

Les *alcarazas*, vases en argile à demi cuite, en usage dans le midi de l'Espagne et en Égypte pour refroidir l'eau qu'ils renferment, jouissent de cette propriété en raison du froid produit par l'évaporation de l'eau qui suinte continuellement à travers les pores.

Il faut rapporter jusqu'à un certain point à la capillarité les efflorescences salines formées de sous-carbonate de soude ou de sel marin, qui recouvrent le sol de vastes plaines de sable, comme on en a de nombreux exemples en Afrique et en Asie. On trouve aussi le natron à la surface de la terre, mais particulièrement en été, dans quelques plaines basses de l'ancien continent, près des lacs qui renferment ce sel en solution. Il se présente sous la forme d'efflorescences ayant de la ressemblance avec des dépôts de neige.

Il en est de même du sel marin; il existe un grand nombre de lacs salés à la surface de la terre, et particulièrement dans les grandes plaines de nos continents, comme au Sénégal, en Égypte, en Abyssinie, en Anatolie, en Barbarie, dans les déserts de l'Arabie, dans la Tartarie, en Chine, en Perse, etc., ainsi que dans les plaines des régions que baigne la mer Caspienne. Les terrains qui environnent ces lacs sont eux-mêmes imprégnés de sel, qui se présente sous la forme d'efflorescences pendant l'été, et se changent en marais salins dans la saison des pluies.

Nous sommes portés à croire que les grandes nappes d'eau souterraines sont mises en communication avec la surface du sol, dans certaines contrées, par l'intermédiaire des sables, des argiles et des substances perméables à l'eau; ces eaux, par un effet de capillarité, montent successivement à la surface en se chargeant des sels qu'elles

rencontrent sur leur passage, et qu'elles abandonnent une fois parvenues à la surface par suite de l'évaporation. L'expérience suivante vient confirmer cette explication.

On a mis dans un tube de 5 ou 6 millimètres de diamètre intérieur, et de 1 décimètre de longueur, de l'argile humectée d'une dissolution de nitrate de chaux, et l'on a coiffé la partie inférieure avec un linge. On a versé une solution du même sel dans la partie supérieure du tube. Après avoir fermé son extrémité supérieure avec un bouchon, on a passé le tube dans un bouchon percé convenablement et fermant un bocal dans lequel se trouvait du carbonate d'ammoniaque en morceaux. Le carbonate étant volatil, a réagi sur le nitrate de chaux au fur et à mesure qu'il suintait, d'où est résulté, d'une part, du nitrate d'ammoniaque qui est reste en solution; de l'autre, du carbonate de chaux qui a cristallisé en rhomboèdres parfaits sur le linge.

Les argiles, quoique jouissant de la propriété capillaire, peuvent néanmoins résister jusqu'à un certain point à la pression exercée par des liquides extérieurs en contact avec elles, pourvu que cette pression ne dépasse pas une certaine limite. On conçoit que les insterstices entre les parties de l'argile étant excessivement petits, l'action capillaire soit assez forte pour résister aux pressions extérieures. C'est pour ce motif qu'une nappe d'eau qui alimente un puits artésien peut être maintenue entre deux couches d'argile; nous ajouterons que le sable qui doit librement donner passage à l'eau dans le même puits doit être à gros grains; sans cela, la force d'ascension serait très-diminuée; dans ce cas, le sable peut être comparé à un crible à grosses ouvertures. Nous ne devons pas oublier de mentionner, en raison de leurs applications en électro-chimie, les effets produits quand deux couches d'argile sont humectées chacune d'une dissolution différente. On a vu que lorsque l'argile est en contact avec un liquide, elle l'absorbe peu à peu et le transporte à des distances assez considérables. Mais ce transport se trouve arrêté, si l'argile, et par suite le liquide, rencontre un autre liquide qui, en réagissant sur lui, donne naissance à des composés insolubles. Pour en donner un exemple, prenons un tube en U, dans l'un des côtés duquel on introduise de l'argile humectée d'une solution de sulfure de potassium; si l'on verse au-dessus une solution de ce même composé, celle-ci, par un effet capillaire, finira par passer dans l'autre branche. Mais si dans celle-ci on introduit préalablement de l'argile humectée d'une solution de nitrate ou de sulfate de cuivre, dès l'instant que les deux argiles seront en contact, le sulfure de potassium réagira sur le nitrate ou le sulfate de cuivre, et il se

formera, d'une part, du sulfure de cuivre qui obstruera les pores de l'argile, diminuera l'action capillaire et pourra même cristalliser, si l'action est très-lente, et de l'autre du sulfate ou du nitrate de potasse qui restera en dissolution. Les liquides éprouveront alors les plus grandes difficultés à passer d'une branche dans l'autre.

De l'écoulement des liquides dans les tubes de très-petits diamètres.

Il ne doit être question, dans cet ouvrage, du mouvement des liquides dans les tubes capillaires ou de très-petits diamètres, que sous le point de vue physiologique, afin de reconnaître jusqu'à quel point les lois qui régissent l'écoulement des liquides dans les capillaires des animaux vivants ou des plantes sous l'empire de la vie, sont identiques avec celles auxquelles obéit l'écoulement des mêmes liquides dans des tubes de verre de très-petits diamètres.

On doit à M. Poiseuille des recherches pleines d'intérêt sur ce sujet nouveau ; aussi ce chapitre sera-t-il consacré entièrement à l'exposition des résultats importants qu'il a obtenus. Avant ce physiologiste, Dubuat, Gerstner et Girard, dans un autre but, s'étaient occupés d'expériences sur l'écoulement des liquides dans des tubes de quelques millimètres de diamètre, mais sans étudier le phénomène dans des circonstances qui pussent faire connaître les lois de sa production ; Girard est le seul qui ait fait varier les différentes charges du liquide, mais dans des limites très-resserrées. M. Poiseuille a été bien au delà de ses devanciers ; il a embrassé la question sous le point de vue le plus général, afin de rattacher les phénomènes d'écoulement qui ont lieu dans la nature organique à ceux de la nature inorganique. En conséquence, il a dû opérer successivement dans des tubes dont le diamètre intérieur variait de $0^{mm},65$ à $0^{mm},015$, et sous des pressions plus considérables qu'on ne l'avait fait avant lui.

Il y a une différence essentielle à signaler dans la manière dont s'opère l'écoulement des liquides dans des tubes d'un certain diamètre, et dans des tubes de très-petits diamètres. Dans les premiers, le liquide coule à plein jet, sans interruption, attendu que l'affinité du liquide pour la matière du tube ne tend pas à retarder sa marche ; tandis que dans les seconds, cette affinité exerce une influence telle sur la vitesse d'écoulement, que la goutte liquide, grossissant peu à peu à l'ouverture inférieure du tube, ne tombe qu'à l'instant où la pesanteur l'emporte ; dès lors la circonstance la plus légère peut faire varier

l'uniformité de l'écoulement. M. Poiseuille a reconnu effectivement dans deux expériences consécutives, faites dans des circonstances qui paraissaient parfaitement identiques, que les vitesses d'écoulement présentaient des différences. Il est parvenu à éviter cet inconvénient en faisant couler l'eau ou le liquide sur lequel on opère dans l'eau ou dans ce liquide. Au moyen de cette disposition, le tube capillaire servant à l'écoulement établit la communication entre deux réservoirs remplis de liquide, soumis à deux pressions différentes.

Voici la description de l'appareil dont M. Poiseuille a fait usage dans ses expériences d'écoulement. Cet appareil se compose de trois parties, pl. X, fig. 1 : 1° d'un vase M de verre, en forme de fuseau ; 2° d'un tuyau en cuivre T, communiquant d'une part avec le vase M, de l'autre, par en haut, avec un renflement, duquel partent trois branches qu'on ferme chacune à volonté avec un robinet. A l'une de ces branches est adaptée une pompe foulante, destinée à mettre le liquide qui s'écoule sous une pression déterminée; à une autre branche, un manomètre à air libre, destiné à mesurer cette pression. Ce manomètre est à eau pour les pressions inférieures à celles qui seraient produites par une colonne de mercure de 150 millimètres, et à mercure pour les pressions plus considérables. La troisième branche est en communication avec un réservoir à air en cuivre, dont la paroi a une forte épaisseur, et qui a une capacité d'environ 60 litres. L'air refoulé dans cette grande capacité exerce une pression sensiblement constante sur le liquide qui s'écoule. Enfin, la troisième partie de l'appareil se compose des parties suivantes : d'un tube capillaire *ef* horizontal servant à l'écoulement, et mis en communication avec le vase M, et par suite avec les trois branches, au moyen d'un tube recourbé *abcde*, soudé en *a*, à peu de distance du fond N du vase A, afin que les corpuscules étrangers qui surnagent souvent dans l'eau puissent se déposer et n'apportent aucune perturbation dans l'écoulement. Ce tube *abcde* est composé lui-même de plusieurs parties : en A se trouve une ampoule placée entre deux tubes diamétralement opposés, *bc* et *de*, ayant un diamètre intérieur d'environ trois quarts de millimètre et disposés comme l'indique la figure. La partie *de*, recourbée à angle droit, se termine par un renflement sphéroïde, auquel vient s'adapter le tube capillaire *ef*. La soudure est faite avec assez de soin pour que la cavité capillaire, se dilatant brusquement, soit en rapport avec celle du renflement *e*. Ce renflement sert à déterminer avec exactitude la longueur du tube capillaire.

On a besoin encore de deux autres points de repère *m* et *n*, situés

à deux millimètres environ de l'ampoule, dont la capacité et celle des deux parties du tube vertical doivent être déterminées. Enfin, à peu de distance de l'appareil se trouve une lunette horizontale, munie d'un réticule et se mouvant le long d'une coulisse verticale; elle est destinée à viser de loin vers les points de repère *m* et *n*. L'écoulement devant s'opérer dans l'eau même, on plonge à cet effet le tube *ef*, ainsi que l'ampoule, dans un vase rempli de ce liquide, dont le niveau arrive à un millimètre au dessus du trait *m*, afin de pouvoir viser ce trait. Pour que la température varie le moins possible pendant la durée d'une expérience, on place le vase dans un baquet plein d'eau à la même température. Les tubes capillaires doivent être choisis de manière à être le plus cylindriques possible, et leur diamètre déterminé avec un grand soin.

Ces dispositions faites, on procède aux expériences de la manière suivante. On commence par placer le tube capillaire dans un flacon contenant le liquide d'écoulement, et au moyen d'une pompe aspirante on en remplit la petite ampoule, ainsi que le tube situé au-dessus, jusque vers *a*. Cela fait, on dévisse la pompe et on dispose l'appareil comme il est décrit plus haut, après avoir toutefois comprimé l'air du réservoir jusqu'à la pression à laquelle on veut opérer. On dirige ensuite la lunette sur le point de repère *m*, et à l'instant ou le niveau du liquide passe à ce point, on fait partir un compteur à secondes, puis on dirige la lunette sur le second point de repère. On note la température et la pression au moyen du manomètre. Quand l'ampoule est sur le point de se vider, on regarde dans la lunette, et l'on observe l'instant où le niveau du liquide arrive au second repère. On note le nombre de secondes écoulées depuis le passage au premier, et on mesure la pression ; comme elle varie peu pendant la durée de l'expérience, on se contente de prendre la moyenne entre deux observations, pour avoir une pression qui soit sensiblement la même.

Dans l'écoulement des liquides à travers des tubes de très-petits diamètres, on doit avoir égard à plusieurs circonstances : 1° à l'influence de la pression sur la quantité de liquide qui s'écoule dans le même temps ; 2° à celle de la longueur des tubes et de leur diamètre intérieur.

Passons successivement en revue les résultats obtenus par M. Poiseuille, en faisant varier ces trois conditions, c'est-à-dire, la pression, la longueur des tubes et leur diamètre. Dans le premier cas, il a déterminé d'abord le temps nécessaire pour que la même ampoule se vide en employant toujours le même tube, et a été conduit à ce

résultat, que pour le même tube, les quantités d'eau écoulées dans le même temps sont proportionnelles aux pressions.

Pour connaître l'influence de la longueur et celle du diamètre du tube, il a remplacé celui qui avait déjà servi par d'autres dont les dimensions étaient parfaitement connues. Les résultats suivants prouvent que, au delà d'une certaine longueur, la loi des pressions n'a plus lieu, et que la valeur de cette limite varie avec le diamètre. L'accord qui règne entre les résultats de l'expérience et les résultats calculés démontre parfaitement l'exactitude de cette loi.

Long. du tube..... 75^{mm},8; *diamètre moyen*..... 0^{mm},142

Pressions en mercure.	Temps employés.	Temps calculés.
51^{mm},068	20085″	19835″,0
97 ,764	10361	admis
147 ,832	6851	6851 ,9
193 ,632	5233	5231 ,2
387 ,675	2612,5	2612 ,8
738 ,715	1372,5	1371 ,2
774 ,676	1308	1307 ,6

Long. du tube..... 75^{mm},05; *diamètre moyen*..... 0^{mm},113

55^{mm},286	21430″	21399″,2
97 ,922	12079	12081 ,8
148 ,275	7981,5	7978 ,9
193 ,947	6100,0	admis
387 ,695	3052	3051 ,6
739 ,467	1600	1599 ,9
774 ,891	1526,5	1526 ,7

Long. du tube.... 50^{mm},225; *diamètre moyen*..... 0^{mm},043

54^{mm},785	35460″	
55 ,796	34798	34817″,5
99 ,508	19517	19522 ,8
149 ,219	13021	13018 ,9
192 ,907	10071	10070 ,5
386 ,555	5025	5025 ,6
774 ,617	2506	2507 ,8

Long. du tube..... 2^{mm},10; *diamètre*..... 0^{mm},029

24^{mm},301	5651″	5645″,3
49 ,994	2751	admis
96 ,123	1426	1427 ,2
148 ,307	925	925 ,0
193 ,357	707	709 ,5

386 ,852	354	354 ,6
773 ,223	178	177 ,4

Long. du tube..... 364^{mm}; *diamètre*..... 0^{mm},1316

54^{mm},987	8590	8598",2
210 ,129	2250	admis
419 ,645	1125,7	1126 ,6
835 ,565	565	565 ,8
1576 ,000	286	admis
2338 ,376	197,5	202 ,1
3095 ,540	154	152 ,7
3856 ,939	123	122 ,8
4616 ,534	106,25	102 ,4
5376 ,533	88,25	87 ,9
6136 ,534	77,50	77 ,0

Ces résultats mettent bien en évidence la loi des pressions, qui ne se vérifie, plus d'après les expériences de M. Poiseuille, au-dessous d'une certaine longueur de tube. Un tube de 0^{mm},029 de diamètre la donne encore quand la longneur est réduite à 2^{mm},10; tandis qu'un tube de 0^{mm},65 de diamètre ne la présente que pour une longuenr de 200^{mm}.

Passons au cas où, le diamètre restant le même, la longueur du tube varie. L'impossibilité où l'on est d'opérer avec des tubes ayant le même diamètre dans toute lenr longuenr, fait qn'en les raccourcissant le diamètre à l'orifice de sortie n'est pas le même. Pour obvier à cet inconvénient, on détermine à la chambre claire adaptée au microscope d'Amici, les diamètres à chaque nouvelle section, ce qui permet de faire la petite correction due à la variation de diamètre, en ayant égard à la loi dont nous parlerons dans un instant, suivant laquelle varie l'écoulement du liquide avec le diamètre.

M. Poiseuille a été conduit à la loi suivante qui régit l'écoulement quand on fait varier la longuenr, au-dessus toutefois d'nne certaine limite de longueur, qui paraît être la même que pour la première loi :

Les temps employés pour l'écoulement d'une même quantité de liquide à la même température, sous la même pression et à travers des tubes de même diamètre, sont proportionnels à la longueur des tubes, c'est-à-dire que les quantités d'eau écoulées dans le même temps sont en raison inverse de la longueur.

Considérons enfin le cas où le diamètre dn tube est variable. S'il est extrêmement rare de trouver des tubes parfaitement cylindriqnes, il ne l'est pas moins d'en trouver dont les sections soient parfaitement circulaires. Pour parer autant que possible à cet inconvénient, on a dé-

terminé à la chambre claire la longueur des diamètres maximum et minimum, et la moyenne géométrique des deux déterminations a été prise pour le diamètre de la section supposée circulaire.

M. Poiseuille a expérimenté avec des tubes ayant des longueurs suffisantes pour que les deux premières lois fussent satisfaites; puis, en partant de la loi des longueurs, il a calculé les produits de l'écoulement pour avoir une même longueur des tubes, celle de 25 mill.

La pression constante à laquelle il a opéré est de 775 millimètres de mercure, et la température 10°.

Voici la loi déduite des expériences.

Les quantités d'eau écoulées, toutes choses égales d'ailleurs, sont entre elles comme les quatrièmes puissances des diamètres. Les résultats consignés dans le tableau suivant montrent effectivement l'exactitude de cette loi :

Désignation des tubes.	Diamètres moyens.	Produits en mill. cubes écoulés en 500''.	
M.....	0mm.,013949	1mil. cub.	,4648
E.....	0 ,029380	28	,8260
D.....	0 ,043738	141	,5002
C.....	0 ,085492	2067	,3912
B.....	0 ,113400	6398	,2933
A.....	0 ,141600	15532	,8451
F.....	0 ,652170	6995870	,2463

En comparant ces produits deux à deux, on voit qu'ils satisfont à la loi précédemment énoncée.

Le produit du tube M comparé au produit du tube

	E est..	1,4650 au lieu de	1,4648
E.....	D.....	28,808	28,826
D.....	C.....	141,63	141,500
C.....	B.....	2066,93	2067,391
B.....	A.....	6389,24	6398,293
A.....	F.....	15547,10	15532,865

Enfin on est parvenu, après avoir comparé un grand nombre de résultats, à établir la formule qui exprime le produit de l'écoulement. Cette formule est

$$Q = K\frac{H D^4}{L},$$

Q étant le produit de l'écoulement; H, la pression; D, le diamètre du tube, et L, sa longueur; K, un coefficient constant dépendant de la température, lequel a été déterminé empiriquement, toujours pour

les tubes de très-petits diamètres que nous venons de considérer, et dont la valeur est (T indiquant la température),

$$K = 1836,724\,(1 + 0,0336793\,T + 0,0002209936\,T^2).$$

De telle sorte que la formule établie par M. Poiseuille, pour l'écoulement des liquides dans les tubes de très-petits diamètres, est

$$Q = 1836,724\,(1 + 0,0336773\,T + 0,0002209936\,T^2)\frac{HD^4}{L}.$$

Les expériences dont nous venons de faire connaître les principaux résultats, établissent donc les lois qui régissent l'écoulement des liquides dans les tubes de verre d'un très-petit diamètre, quand on fait varier la pression à laquelle sont soumis ces liquides, la longueur et le diamètre des tubes. M. Poiseuille s'occupe de rechercher jusqu'à quel point ces lois s'appliquent à l'écoulement des liquides dans les vaisseaux capillaires des animaux morts ou vivants, afin de tâcher de découvrir si, en dehors de la force vitale, il n'existerait pas une cause physique propre à la nature organique qui servirait à expliquer une partie des faits observés. Mais dès à présent il a résolu avec beaucoup de sagacité la question qui avait pour but d'établir l'identité dans le mode d'écoulement considéré dans les tubes de verre, dans les capillaires des animaux morts ou vivants, en faisant varier la nature du liquide écoulé. Il a donc traité du mouvement des liquides : 1° dans les tubes capillaires de verre ;

2° Dans les tubes capillaires des corps organisés, privés de la vie ;

3° Dans les mêmes tubes, sous l'empire de la vie.

Nous allons examiner successivement chacune de ces questions, en suivant la marche que lui-même s'est tracée.

Fait fondamental.

Dans l'écoulement des liquides à travers les tubes d'un très-petit diamètre, le liquide se meut dans un canal dont les parois sont formées par le liquide qui s'écoule. Ce principe, admis par tous ceux qui se sont occupés d'hydrodynamique, a été démontré expérimentalement de la manière suivante par M. Poiseuille.

Il a pris un tube de verre ayant les dimensions suivantes :

Tube A, long. = $108^{mm},24$; diamètre, $0^{mm},255$; capacité de l'ampoule, 6^{cc} ; pression, $746^{mm},45$ d'eau. L'ampoule remplie d'eau distillée s'est vidée en $1132''$.

On a fait passer dans le tube du vernis de Spa, étendu de trois fois son poids d'alcool ; puis une grande quantité d'air pour vaporiser

l'alcool, afin que la surface intérieure du tube fût recouverte d'une couche de vernis et dépolie. L'écoulement de la même quantité d'eau s'est opéré cette fois en 1136″; il y a eu par conséquent un retard de 4″, dû probablement à un rétrécissement du diamètre du tube. Ponr voir jusqu'à quel point cette opinion était fondée, on a fait fondre à une donce chaleur la couche de vernis, afin que la surface devînt polie; l'ampoule a mis alors à se vider 1135″,75, à peu près le même temps. Ainsi donc, que la surface intérienre du tube soit polie ou dépolie, la durée de l'écoulement est la même. On est conduit par là à admettre que, dans l'écoulemeut dans les tubes capiliaires, l'eau coule sur une paroi liquide formée par une couche fluide, maintenue contre les parois du tube par l'action attractive exercée par le verre sur le liquide qui se meut; l'action de cette couche détruirait l'effet résuitant de l'état de la surface. Ce qui tend à confirmer cette manière de voir, c'est que les phénomènes sont tout autres quaud le liquide qui s'écoule ne mouille pas les parois. Nous citerons pour exemple le mercure, qui coule moins vite dans un tube dont la surface est dépoiie, que dans un autre de même nature à surface polle. La nature du tube n'eutre donc pour rien dans la production du phénomène de mouvement, qu'il faut rapporter aux actions réciproques des molécules fluides qui s'écoulent. Voyons ce qui arrive avec des liquides de nature différente.

Tube B, long. = 105^{mm}; dia., 0^{mm},17; cap. de l'amp., 29^{cc},3; pression, 147^{mm} de mercure; temp. 16°.

Eau distillée et nitrate de potasse.

	Durée de l'écoulement.
Eau distillée	111′,46″
Sel : eau : : 1 : 50 (en poids)	109,20
Sel : eau : : 1 : 10	107,34

La présence du nitrate de potasse a donc rendu l'écoulement plus facile.

Avec un tube d'un diamètre plus petit, le résultat a été le même.

Eau distillée et alcool.

Tube D, long., 245^{mm}; D = 0^{mm},36; cap. de l'amp., 13^{cc},5; pression, 140^{mm} de mercure; temp., 10°.

	Durée de l'écoulement.
Eau distillée	8′,43″
Alcool anhydre	11,22

Alcool : eau : : 2 : 1..... 22',16
Alcool : eau : : 1 : 3..... 24',4
Alcool : eau : : 1 : 5..... 20 ,37
Alcool : eau : : 1 : 9..... 14',1
Alcool : eau : : 1 : 18..... 11',34

Ces résultats nous montrent que l'alcool ajouté à l'eau retarde l'écoulement du liquide.

Expériences dans lesquelles l'eau est remplacée par le sérum.

Tube E, long.=25^{mm}; D=0^{mm},175; cap. de l'amp., 30^{cc},75; pression, 2020^{mm} d'eau.

Durée de l'écoulement.

Eau distillée..... 37',4"
Sérum de l'homme d=1,02875..... 68 ,45
Sérum autre que le précédent d=1,03037..... 71 ,25

Ces expériences montrent que le sérum coule près de moitié moins vite que l'eau distillée, et que deux sérums ayant sensiblement la même densité ne coulent pas également vite, probablement parce qu'ils n'ont pas la même composition chimique. En ajoutant de l'eau au sérum, on a obtenu les résultats suivants :

Eau : à sérum : : 1 : 10;

Densité, 1,02645.—Durée de l'écoulement, 63',4".

En continuant à ajouter de l'eau, l'écoulement s'est accéléré de plus en plus; avec des mélanges de sérum et de nitrate de potasse ou d'acétate d'ammoniaque, M. Poiseuille a trouvé qu'entre certaines limites, la vitesse d'écoulement augmentait; mais que si à un mélange de sérum et d'ammoniaque, on ajoutait du nitrate de potasse, il y avait au contraire ralentissement dans l'écoulement.

L'alcool ajouté au sérum retarde l'écoulement comme pour l'eau distillée; enfin, si au mélange de sérum et d'alcool on ajoute du nitrate de potasse, on rend au sérum sa vitesse primitive.

Les expériences dont nous venons de faire connaître les principaux résultats ont été faites avec des tubes de verre. Il s'agit de voir maintenant si les résultats sont encore les mêmes avec les vaisseaux capillaires des corps organisés; et, pour simplifier la question, prenons d'abord des corps qui ne soient plus sous l'empire de la vie, afin d'éliminer l'action de la force vitale. Dans des expériences de ce genre, il faut se mettre en garde contre l'agglomération des globules du sang ou autres d'une nature différente si l'on opère sur des vé-

gétaux, et contre le phénomène d'imbibition des tissus parcourus par les liquides, dont l'effet est de rendre bientôt, pour ainsi dire l'organe imperméable, phénomène dont il sera question plus loin.

L'eau distillée étant de tous les liquides celui qui présente cet effet au plus haut degré, M. Poiseuille lui a substitué le sérum du sang de bœuf, de mouton, qui n'a pas cet inconvénient, et dont les propriétés le rapprochent le plus du sang. Le sang défibriné ne pouvait être employé avantageusement, attendu que l'expérience a prouvé que l'écoulement se ralentit peu à peu, et finit par s'arrêter tout à fait. On explique par là comment il se fait que la mort suive la diminution successive de la fibrine dans le sang.

Pour expérimenter sur l'animal mort, on commence par tuer l'animal par hémorrhagie, et on injecte ensuite l'artère principale d'un organe sur lequel on veut opérer avec du sérum à température ambiante, jusqu'à ce que tout le sang rouge soit expulsé, l'organe faisant toujours partie de l'animal, qu'on laisse refroidir jusqu'à ce qu'il ait atteint la température au milieu de laquelle il se trouve. L'artère est ensuite préparée pour recevoir l'extrémité inférieure du tube qui renferme le liquide destiné à circuler dans les capillaires. La pression donnée par le poids du liquide en mouvement est ordinairement égale à une colonne d'environ $0^m,1835$ de hauteur, et équivaut à la pression du cœur gauche, déterminée par l'hémo-dynamètre; la quantité de liquide écoulée variait de 90 à 100^{cc}.

Expérience sur le rein d'un chien pesant 5 à 6 kilog.; température, 13°,5.

Sérum pur.

	Durée de l'écoulement.
1re expér.	3′,9″
2e —	3 ,8″
3e —	3 ,8″

Même sérum mélangé d'acétate d'ammoniaque; sel : sérum : : 1 : 75 en poids.

4e expér.	2′,49″
5e —	2′,37″
6e —	2′,37″

Ces derniers résultats montrent que la présence de l'acétate d'ammoniaque accélère l'écoulement dans les tubes capillaires organisés comme dans les tubes de verre. Il est probable que dans les 5e et 6e

expériences, la durée de l'écoulement n'a été moindre que parce que les vaisseaux ne contenaient plus de sérum pur.

De semblables expériences, faites sur la cuisse d'un chien ou sur un autre organe, avec du sérum auquel on avait ajouté du nitrate de potasse, ont montré que ce sel facilitait l'écoulement du sérum, dans les capillaires des corps organisés privés de vie, comme dans les tubes inertes.

L'alcool ajouté au sérum retarde au contraire l'écoulement, comme dans les tubes de verre. Passons aux vaisseaux capillaires des animaux vivants, toutes choses égales d'ailleurs. M. Poiseuille a suivi le même mode d'expérimentation que celui employé par M. Héring, lequel consiste à injecter dans une des veines jugulaires une solution de ferrocyanure de potassium, dont la présence est accusée à l'aide de réactifs convenables dans le sang tiré de la veine jugulaire opposée, après toutefois que la solution a traversé les cavités droites du cœur, l'artère pulmonaire, les capillaires des poumons, les veines pulmonaires, le cœur aortique, l'aorte ascendante et les capillaires des organes d'où naissent les bronches qui se rendent à cette veine. Il est bien évident que le temps écoulé entre l'introduction du sel dans l'une des jugulaires et le moment de son arrivée dans la jugulaire opposée, mesure exactement celui employé par une molécule de sang pour effectuer tout le trajet indiqué. Ces expériences exigeaient, avant tout, que l'on s'assurât que la solution injectée dans l'une des jugulaires ne modifiait pas sensiblement l'intensité des contractions du cœur, ce dont on s'est assuré à l'aide de l'hémo-dynamètre. Rassuré complétement sur ce point, on a injecté dans l'une des veines jugulaires de plusieurs chiens, les liquides suivants, qui n'altèrent en rien la fluidité, soit du sérum, soit du sang défibriné :

1°	0gr,15	de ferrocyanure de potassium.
	10	d'eau distillée.
2°	0gr,10	de ferrocyanure de potassium.
	3	d'eau.
	8	d'alcool à 40°.
3°	0gr,10	de ferrocyanure de potassium.
	0 ,10	de nitrate de potasse.
	10	d'eau distillée.
4°	0gr	de ferrocyanure de potassium.
	0 ,60	d'acétate d'ammoniaque.
	10	d'eau distillée.

Dans chaque expérience, on s'assurait que la colonne de mercure de l'hémo-dynamètre était la même avant qu'après l'injection du liquide dans la veine jugulaire. Complétement rassuré sur ce point, M. Poiseuille a cherché quelle était la vitesse du sang dans un cheval à l'état normal, c'est-à-dire le temps que mettait le sang à passer d'une jugulaire dans l'autre sous l'influence du cyanure. A cet effet, il a introduit dans l'une des jugulaires préalablement découverte le bout d'un entonnoir de 600 centimètres de capacité, formé d'une alonge droite, terminée inférieurement par un tube en cuivre légèrement recourbé et muni d'un robinet. Le liquide employé se composait de 5 gr. de cyanoferrure de potassium, dissous dans 450 gr. d'eau distillée; sa température était celle de l'animal, afin qu'il n'en résultât pas un refroidissement qui pût jeter une perturbation dans l'économie générale. Le sang de la veine opposée était recueilli à certains intervalles de temps dans des vases numérotés (comptés avec un chronomètre). L'expérience terminée, les veines étaient refermées, et l'on s'assurait si l'animal était aussi calme après l'expérience qu'avant, afin qu'il pût être considéré comme étant à l'état normal. Le lendemain, le sérum du sang était essayé à l'aide d'une solution de perchlorure de fer. Le temps correspondant au premier vase dans lequel on reconnaissait la présence du cyanure, était précisément celui que le sang avait employé à passer d'une veine dans l'autre. Des expériences faites sur douze chevaux, par M. Poiseuille, ont donné les résultats suivants. Avec le liquide précédemment indiqué, la vitesse de circulation a été de 25 à 30″; en y ajoutant de l'acétate d'ammoniaque, elle a été de 18 à 24″; en substituant l'alcool à l'acétate d'ammoniaque, la vitesse de circulation a été de 40 à 45″.

On est conduit à cette conséquence remarquable, que l'alcool mêlé au sang retarde la circulation du sang dans les capillaires vivants, comme dans les tubes de verre ou les vaisseaux inertes, tandis que l'acétate d'ammoniaque l'accélère. La présence du nitrate de potasse produit le même effet que l'acétate d'ammoniaque. Les effets que nous venons de rapporter, produits sous l'empire de la vie, sont dus évidemment à des effets physiques; ils nous prouvent que dans l'étude des phénomènes physiologiques, il est indispensable de faire intervenir l'action des forces physiques qui peuvent être modifiées par l'action vitale, mais qui, dans quelques circonstances, sont prépondérantes; car il est bien démontré que les causes physiques qui régissent l'écoulement des liquides dans les tubes inertes, sont précisément celles qui président à la circulation du sang dans les animaux. Dans

la notice historique insérée en tête du premier volume, nous avons fait sentir la nécessité de l'alliance entre la physique et la chimie d'une part, la physique, la chimie et la physiologie de l'autre, les faits que nous venons de rapporter ne doivent laisser aucun doute sur l'importance de cette alliance à l'avancement de la physiologie. Nul doute que, dans la circulation du sang, la force vitale ne modifie celle des causes physiques. Cette modification résulte de l'action des tissus sur le sang, action qui n'est plus la même après la vie quand l'action nerveuse n'existe plus. Cette influence de l'action nerveuse peut tout au plus modifier la vitesse de circulation, mais non assez fortement pour masquer les effets généraux dus à l'action des forces physiques, suivant les composés qui s'introduisent à chaque instant dans le sang ou qui lui sont enlevés. Néanmoins les effets généraux observés doivent être considérés comme les mêmes dans les capillaires vivants comme dans les capillaires inertes.

Nous avons parlé de l'hémo-dynamètre sans le décrire, de cet instrument à l'aide duquel on mesure la pression du sang, parce que nous n'avons pas voulu scinder l'exposé des expériences et les résultats qu'en a déduits M. Poiseuille. Nous avons jugé utile de faire connaître cet instrument très-simple, que l'on doit à ce physiologiste distingué.

Soit un tube de verre, fig. 2, pl. X, présentant une branche horizontale A B, une branche verticale descendante B C, et une troisième branche ascendante D E, courbé de manière à offrir en B un quart de cercle, et en C D un demi-cercle.

Le tube étant dans une position verticale, après avoir introduit du mercure dans les branches verticales dont les niveaux sont en G et H, on met au-dessus du mercure, et dans la branche horizontale A, B, G, une solution saturée de carbonate de soude pour s'opposer à la coagulation du sang. Si le sang s'introduit dans la partie A B G par l'orifice A, abouché à une artère, il pressera sur la surface G du mercure; le métal sera déprimé dans la branche B C de G en K, par exemple, lorsqu'il s'élèvera dans la branche D E en I. Il est évident, d'après les lois de l'hydrostatique, que la différence des niveaux du mercure dans les deux branches, en ayant égard à la petite correction provenant de la présence du carbonate de soude, donnera la pression du sang dans le système artériel.

CHAPITRE V.

De l'endosmose et de l'exosmose.

Un grand nombre de phénomènes produits dans les trois règnes de la nature montrent que, lorsque deux liquides quelconques sont séparés par une membrane ou un corps doué d'une certaine porosité, il s'opère deux effets concomitants. Chaque liquide traverse la membrane ou le corps poreux pour se mêler ou se combiner avec l'autre, mais de telle sorte qu'il arrive souvent qu'un liquide reçoit de l'autre plus qu'il n'en donne, d'où résulte que son niveau s'élève, tandis que celui de l'autre liquide s'abaisse. Jadis, on attribuait ce double effet à la capillarité; mais aujourd'hui il est bien démontré qu'il est dû à plusieurs causes réunies, et constitue le phénomène d'endosmose et d'exosmose.

Une preuve que la capillarité n'est pas la seule cause agissante, c'est qu'il arrive quelquefois que l'un des liquides passe presque entièrement d'un côté, tandis que l'autre liquide, celui qui reçoit le premier, n'en donne presque pas à l'autre. Le niveau, dans ce cas, s'élève de plusieurs décimètres, et l'on ne voit pas comment, si la capillarité intervenait, le liquide pourrait être maintenu. Voyons quelles sont les observations qui ont conduit à la découverte de ce phénomène.

M. Fischer, de Breslaw, avait un jour placé dans une dissolution de cuivre un tube de verre rempli d'eau distillée et fermé en bas par une vessie, mais de manière que la surface de la dissolution fût d'un pouce plus élevée que l'eau dans le tube. Un fil de fer ayant été plongé dans l'eau, il reconnut que le cuivre provenant du sulfate de cuivre passé dans le tube avait été réduit par le fer; que le liquide s'était élevé dans l'espace de plusieurs semaines à une hauteur de plus de 1 décim. au-dessus de la dissolution. Cet effet, qui est évidemment dû à l'endosmose, avait été observé par Fischer, avant que M. Dutrochet n'ait décrit ce phénomène.

M. Magnus fit cette expérience d'une manière inverse; il mit la dissolution de sulfate de cuivre dans le tube, et l'eau distillée dans

le vase. L'eau entra dans le tube, et le niveau du liquide s'éleva au bout de quelque temps de plus de 5 centim. Il reconnut que le diamètre du tube, ainsi que la nature de la membrane, étaient sans effet sur la production du phénomène, qui avait lieu avec des sels quelconques. Il avança qu'avec les sels peu solubles, tels que le sel marin, l'ascension est moins grande, tandis qu'elle est très-notable avec les sels très solubles; que, lorsque la dissolution se trouve dans le tube intérieur ou dans le vase où celui-ci est placé, le liquide monte toujours dans celui des deux vases qui contient la dissolution. Il résulte de là qu'en mettant l'eau dans le vase le plus étroit, le niveau s'abaisse au-dessous de celui de la dissolution saline; les effets ne cessent que lorsque les deux liquides contiennent le sel au même degré de saturation. La dissolution de cuivre, en raison de sa couleur, se prête très-bien à ces expériences.

Parrot fit une expérience que nous devons aussi rapporter.

Si l'on remplit d'alcool, aussi complétement que possible, un petit vase de verre, fermé avec un morceau de vessie de bœuf ramollie dans l'eau, et qu'on renverse cet appareil dans un vase rempli d'eau, au bout de quelques heures une grande quantité d'eau aura pénétré dans l'alcool, et la vessie se distendra à un point tel que, si on la pique avec une épingle, on aura un jet de trois à six décim. de haut. Ce phénomène est dû en partie à la forte affinité de l'eau pour l'alcool, en vertu de laquelle ce dernier s'empare des molécules d'eau engagées dans la vessie, et oblige ensuite la molécule qui vient immédiatement après à prendre la place de celle que l'alcool a enlevée à l'eau.

On doit rapporter en partie à des effets du même genre le fait observé par Sömmering, relatif à la concentration de l'eau-de-vie dans des peaux; mais dans ce cas, il faut ajouter que l'eau peut dissoudre certains principes constituants de la peau que l'eau-de-vie ne peut attaquer. Dans ce cas, la vessie ou la peau est pénétrée par une dissolution aqueuse concentrée; l'eau de cette dissolution s'évapore à la surface extérieure de la vessie, tandis que la substance dissoute enlève à l'eau-de-vie une nouvelle quantité d'eau pour se dissoudre.

Il faut encore rapporter à la même cause les effets produits quand on laisse séjourner pendant longtemps des fruits dans l'eau-de-vie, tels que cerises, prunes, abricots, etc. : on trouve qu'au bout d'un certain temps ils ont absorbé une grande quantité d'alcool. Il faut donc que les sucs intérieurs aient attiré une plus grande quantité d'alcool que d'eau.

Il est bon de remarquer aussi que l'urine n'imbibe pas la vessie, tandis que celle-ci peut laisser passer des sérosités de l'extérieur.

Tel était l'état des choses quand M. Dutrochet reprit tous ces phénomènes, en découvrit un grand nombre de nouveaux, et les réunit tous dans une théorie qu'il nomma théorie de l'endosmose et de l'exosmose. Jamais tous ces phénomènes n'avaient été étudiés d'une manière aussi complète. Ce qui précède et ce qui va suivre prouvera que M. Dutrochet, s'il a été aidé par les expériences faites avant lui, a le mérite incontestable d'avoir approfondi le phénomène plus que ses devanciers ne l'avaient fait, et n'en doit pas moins être considéré comme l'auteur de la découverte. Pour mieux étudier ce phénomène, il prit une vessie de poulet, la remplit d'une substance plus dense que l'eau, telle que le lait, la gomme, l'albumine, etc. Après l'avoir fermée par une ligature, il la plongea dans l'eau. La vessie ne tarda pas à se gonfler. L'état turgide dura plusieurs jours, après lesquels l'effet cessa. Le cœcum, par suite de la putréfaction, devint flasque, en sorte que la vessie perdit ce qu'elle avait gagné d'abord. Dans ses expériences, M. Dutrochet s'est servi d'un tube de verre terminé d'un côté par un large évasement, pl. IX, fig. 19, dont l'ouverture est bouchée au moyen d'un morceau de vessie fixée au moyen d'une ligature. La cavité remplie du liquide dont on veut connaître la force d'endosmose plonge dans de l'eau distillée. Si le liquide qui produit de l'endosmose est de l'eau de gomme, de l'eau sucrée ou une solution saline, on le place dans le tube tenu dans une position verticale. Ce liquide s'élève à une hauteur plus ou moins considérable.

M. Dutrochet a posé en principe, que lorsque deux liquides hétérogènes, pouvant se mêler, sont séparés par une cloison à pores capillaires, ils marchent inégalement l'un vers l'autre, en traversant les pores. Il existe donc deux courants : le plus fort a été appelé *endosmose*, le plus faible *exosmose*, et l'appareil destiné à produire le double phénomène, *endosmomètre*.

La différence de densité n'est pas toujours en rapport avec le degré d'endosmose, quoique ce soit ordinairement du côté le plus dense que se dirige le courant d'endosmose. L'alcool et l'éther font exception ; ils se comportent relativement à l'eau comme des liquides plus denses.

On reconnaît le double courant en opérant avec de l'eau salée d'un côté, de l'eau de l'autre, et se servant de nitrate d'argent pour réactif.

Le mélange des deux liquides hétérogènes est une condition indispensable pour la production du phénomène ; sans cela le volume de l'un ne pourrait pas s'accroître aux dépens du volume de l'autre,

comme cela arrive avec l'eau et l'huile. Il n'en est pas de même quand on opère avec une huile volatile et une huile fixe, telles que l'huile de lavande et l'huile d'olive; le courant va de la première à la seconde. Le phénomène a encore lieu entre l'alcool et les huiles volatiles, parce que ces deux liquides se dissolvent l'un dans l'autre.

Les membranes végétales produisent les mêmes effets que les membranes animales.

On prouve de la manière suivante que la cloison séparatrice, en raison de sa nature chimique, exerce une grande influence sur le phénomène; on prouve ce fait de la manière suivante. Si l'on prend pour membrane séparatrice du taffetas enduit de caoutchouc, qui n'est point perméable à l'eau, et que l'on opère avec ce liquide et de l'eau sucrée, il n'y a point d'endosmose; mais il n'en est pas de même quand on met dans le réservoir, à la place de l'eau sucrée, de l'alcool : il y a endosmose de l'eau vers l'alcool. Pendant un certain temps, elle est d'abord très-lente, puis elle devient plus rapide, en raison de l'action exercée par l'alcool sur le caoutchouc, laquelle rend perméable la cloison aux deux liquides. Il y a en même temps exosmose.

Dans les essais qui ont été faits pour voir jusqu'à quel point les lames poreuses minérales produisaient des effets d'endosmose, M. Dutrochet a substitué à la membrane organique une lame de grès tendre de 6 mill. d'épaisseur, et a opéré avec de l'eau ordinaire et de l'eau chargée de 2 centièmes de gomme. L'endosmose ne s'est pas produite. Il en a été de même avec une lame de 4 millimètres. Avec une lame de grès dur et ferrugineux de 3 millimètres d'épaisseur, on a eu une endosmose très-faible. En général, le grès ne donne point le phénomène d'endosmose, bien que doué de la perméabilité capillaire.

La porcelaine dégourdie, qui n'est autre qu'un silicate d'alumine avec excès de base, et très-perméable à l'eau, comme on sait, ne donne aucun signe d'endosmose, en opérant même avec des liquides possédant à un haut degré cette puissance, tels que les solutions fortement chargées de sucre, l'alcool, etc. Dans les expériences tentées à cet égard, le liquide supérieur a toujours filtré à travers le liquide inférieur, pour se mettre de niveau avec lui. M. Dutrochet a tiré de ce fait et du précédent, que les corps siliceux étaient privés de la propriété de produire l'endosmose. Il n'en est pas de même des diaphragmes en argile cuite, mais non suffisamment pour mettre obstacle au passage des liquides. Une lame d'argile cuite, d'un millimètre d'épaisseur, produit le phénomène à un degré assez marqué. Il en est de même en donnant une épaisseur de 2 à 5 millimètres au diaphragme.

On a obtenu également des effets, mais moins marqués, avec des lames d'argile grossière d'un centimètre et demi d'épaisseur. Ainsi donc, les substances alumineuses sont très-propres à produire l'endosmose; propriété dont paraissent en grande partie privées les substances silicieuses, comme nous venons de le dire.

Passons au calcaire. Une lame de calcaire tendre ne produit point le phénomène. Des effets négatifs furent produits également avec des lames de calcaire de 3 millimètres d'épaisseur. Une lame de marbre de 1 millimètre d'épaisseur, et qui perdait par filtration, dans l'espace d'un jour, 21 millimètres d'eau, mesurée par le tube, a donné une endosmose de 7 millimètres, en 24 heures, avec l'eau et l'eau sucrée. On doit considérer le carbonate de chaux comme possédant à un faible degré la propriété endosmomique.

L'élévation de température augmente la quantité de liquide introduit par l'endosmose dans un temps donné. Cette expérience a été faite en adaptant à un tube de verre un cœcum de poulet au moyen d'une ligature, et remplissant ce cœcum d'une solution composée de deux parties de gomme dans dix parties d'eau. On avait pesé d'abord cet appareil; on le plongea dans un vase contenant de l'eau distillée à 14° centigrades. Au bout d'une heure et demie, l'appareil n'ayant point changé, on le pesa de nouveau, et on lui trouva une augmentation de poids de 13 grammes. En le plongeant dans de l'eau de 25 à 26°, l'accroissement de poids fut de 23 grammes.

L'effet de l'endosmose est en général proportionnel à l'étendue de la surface de la cloison. L'expérience a confirmé ce fait; elle est tellement simple, que je n'en ferai point mention ici. On prend pour élément de la vitesse et de la force de l'endosmose, la quantité de liquide introduite dans un temps donné pour le même appareil, et par conséquent avec la même membrane. En général, plus le liquide qui se trouve dans l'endosmomètre est dense, plus la vitesse est considérable. Il est nécessaire aussi que les expériences se suivent rapidement; car si elles sont faites à de longs intervalles, on obtient quelquefois des résultats différents de moitié. Ces variations tiennent, soit au changement dû à la densité, soit à celui que la membrane a dû éprouver. Il résulte de plusieurs séries d'expériences faites par M. Dutrochet, que les vitesses de l'endosmose obtenues avec diverses densités d'un même liquide intérieur, sont proportionnelles aux excès de leur densité sur celle de l'eau. Pour mesurer cette vitesse, M. Dutrochet s'est servi d'un appareil à peu près semblable à celui employé par Hales et divers physiologistes pour mesurer la force ascensionnelle de la

séve. Cet appareil, pl. IX, fig. 20, se compose d'un endosmomètre dont le tube est recourbé deux fois sur lui-même. On verse, par l'ouverture supérieure, du mercure qui prend son niveau en *g g*. Au sommet de la courbure supérieure, se trouve une ouverture par laquelle on introduit le liquide sur lequel on expérimente. Ce liquide doit remplir non-seulement le réservoir A, mais encore la partie E B, B G du tube recourbé; le niveau du mercure baisse de G en F; on ferme ensuite l'ouverture G avec un bouchon très-bien adapté. L'ouverture O du réservoir est fermée par trois morceaux de vessie superposés; et pour donner plus de consistance à cet assemblage, on y adapte un morceau de canevas. Quand on veut opérer, on plonge l'ouverture O, qui a 5 centimètres de diamètre, dans un vase *a* rempli d'eau. Au fur et à mesure que l'eau entre dans l'endosmomètre, le niveau *f* baisse, tandis que le niveau du mercure dans la grande branche monte. Dès que le mouvement ascensionnel du mercure cesse, l'opération est terminée. M. Dutrochet emploie ordinairement la gomme arabique et le sucre; mais de préférence ce dernier, attendu qu'il s'oppose à la putréfaction de la membrane. Il a reconnu que lorsque le liquide intérieur acquiert une odeur putride, il cesse d'être propre à la production de l'endosmose.

En employant de l'eau sucrée, on préserve la face intérieure de la membrane d'altération, mais non la surface extérieure. Dans ce cas, l'endosmose s'arrête; mais, en changeant l'eau, on la voit reparaître. Les expériences qui ont été faites montrent que la loi qui préside à la force de l'endosmose est la même que celle que l'on a reconnue pour sa vitesse.

Cette loi, néanmoins, ne doit pas être considérée comme générale, attendu que l'endosmose ne dépend pas seulement de la différence de densité des deux liquides, mais encore des qualités propres aux liquides. En effet, comme on l'a déjà vu précédemment, l'alcool, qui a une densité moindre que l'eau, produit une endosmose très-énergique dirigée de l'eau vers l'alcool. On remarque des effets semblables avec des liquides organiques, effets qui ne dépendent nullement de la densité. M. Dutrochet a cherché la mesure comparative de l'endosmose produite par différents liquides mis en rapport avec l'eau pure, en se servant de la même membrane. Ses expériences présentent quelques difficultés, attendu que la membrane séparatrice ne conserve pas le même degré de perméabilité, quand les expériences sont de longue durée. Les expériences qu'il a faites à ce sujet montrent qu'il est impossible d'obtenir des résultats rigoureusement comparables en

mesurant, avec le même endosmomètre, le pouvoir d'endosmose de chaque liquide. Cependant, c'est le seul moyen d'expérimentation que l'on puisse employer; seulement, il faut faire un grand nombre d'expériences, écarter les résultats les plus discordants et prendre des moyennes. C'est en opérant de cette manière que M. Dutrochet a trouvé qu'à même densité une solution de sel marin et une de sulfate de soude ont un pouvoir d'endosmose dans le rapport de 1 à 2. Ces solutions étant mises en rapport avec l'eau pure, avec l'eau de gomme arabique et l'eau sucrée à même densité, le rapport paraît être également de 1 à 2, ou plus exactement de 8 à 17.

Des expériences ont été faites pour comparer le pouvoir d'endosmose de l'eau chargée de gélatine et d'albumine, qui sont les deux substances les plus répandues dans l'organisme animal. La gélatine a été tirée de la colle de poisson, et l'albumine de l'œuf d'une poule.

L'eau gélatineuse avait une densité de 1,01. L'eau albumineuse, à la même densité, contenait 0,041 de son poids d'albumine; quantité égale à celle de la gélatine contenue dans l'eau gélatineuse ayant la même densité. Les moyennes des résultats obtenus ont montré que le rapport du pouvoir d'endosmose de l'eau gélatineuse, au pouvoir d'endosmose de l'eau albumineuse, l'eau pure étant le liquide extérieur, était : : 1 : 4.

On a vu que le sucre était, de toutes les substances végétales, celle qui, dissoute dans l'eau, avait le plus de pouvoir d'endosmose. On a cherché naturellement quel était le rapport du pouvoir d'endosmose de l'eau sucrée et de l'eau albumineuse ayant la même densité que celle déjà indiquée, 1,01. Ce rapport est d'environ 11 à 12. Dès lors, on peut établir le rapport suivant pour les pouvoirs d'endosmose :

Eau gélatineuse.....	3
Eau gommée.....	5,17
Eau sucrée.....	11
Eau albumineuse.....	12

Voyons maintenant comment se comportent dans l'endosmose les acides et les alcalis. Dans ses premières expériences, en 1826, M. Dutrochet avait annoncé que les acides avaient une action opposée à celle des alcalis, dans leur réaction sur l'eau dont chaque solution était séparée par une membrane. Avec la solution alcaline, le courant allait de l'eau vers cette solution. Deux ans après, en soumettant à l'expérience divers acides, M. Dutrochet reconnut que le vinaigre et les acides nitrique et hydrochlorique, séparés de l'eau par

une vessie, donnaient lieu à un courant d'endosmose dirigé de l'eau vers l'acide. Quant aux acides sulfurique et hydrosulfurique, qui sont impropres à la production de l'endosmose, ils ont reçu en conséquence la qualification de liquides inactifs.

Dans une autre série de recherches, M. Dutrochet a été conduit à une suite de faits que nous allons faire connaître. Dans ses premières expériences, les acides avaient toujours été placés dans l'endosmomètre, par conséquent au-dessus de l'eau. L'acide hydrochlorique, à divers degrés de densité, et l'acide nitrique seulement à des degrés assez élevés de densité, avaient montré un courant d'endosmose dirigé de l'eau vers l'acide. L'acide sulfurique assez étendu, et l'acide hydrosulfurique, descendaient toujours et graduellement dans le tube de l'endosmomètre. Il en conclut aussitôt que les acides ne produisaient aucune endosmose et filtraient mécaniquement à travers les pores de la membrane, en vertu de leur propre poids; mais, ayant opéré avec de l'acide oxalique placé dans l'endosmomètre, il vit l'acide s'abaisser rapidement dans le tube; il répéta alors l'expérience inverse, c'est-à-dire qu'il plongea l'endosmomètre rempli d'eau dans une solution d'acide oxalique; il vit alors l'eau monter dans le tube, ce qui annonçait évidemment un courant dirigé de l'acide vers l'eau. En analysant cette expérience, il constata l'existence du double courant. L'endosmose était d'autant plus rapide, que l'acide oxalique extérieur avait une plus forte densité. Voilà donc un liquide plus dense que l'eau, qui donne naissance néanmoins à un courant en sens contraire; ce fait était une exception à la règle générale, à laquelle ne pouvaient être rapportés que l'alcool et quelques liquides végétaux. M. Dutrochet a cherché quelle pouvait être la cause de cette inversion; voici les expériences qu'il a faites à ce sujet. Il a commencé par comparer la filtration de ces liquides dans le même endosmomètre, dont la membrane était baignée extérieurement par le même liquide, en observant la quantité de son abaissement dans le tube de l'instrument, pendant le même temps employé pour observer la filtration de l'eau, les circonstances, bien entendu, étant exactement semblables. En opérant ainsi, il a trouvé qu'à la température de $+21^{\circ}$, la filtration de l'eau de pluie étant représentée par 24, la filtration d'une solution aqueuse d'acide oxalique à la faible densité de 1,005 était représentée par 12; à la densité de 1,01, la filtration était 9. On voit donc que l'eau traverse plus facilement les membranes animales que ne le fait une solution aqueuse d'acide oxalique; et cependant ce dernier liquide traverse la membrane animale plus facilement et en plus

grande quantité que ne le fait l'eau, lorsque cette dernière baigne la face extérieure.

Cette propriété de l'acide oxalique est partagée par les acides tartrique et citrique, qui sont beaucoup plus solubles. De plus, ces deux acides jouissent de la singulière propriété que leurs effets d'endosmose, à différents degrés de densité, ne sont pas dans le même sens, c'est-à-dire que des solutions très-denses et des solutions moins denses présentent l'endosmose dans des sens inverses. A l'égard de l'acide tartrique, quand la solution a une densité supérieure à 1,05, et qu'elle est séparée de l'eau par une membrane animale, à la température de + 25° centigrades, le courant va de l'eau à l'acide; pour les densités inférieures à 1,05, le courant va en sens inverse. A la densité moyenne de 1,05, il n'y a point d'endosmose, mais il y a pénétration d'acide et d'eau à travers la membrane.

En cherchant comment la température intervenait dans ces diverses expériences, M. Dutrochet a reconnu que l'abaissement de température favorise l'endosmose vers l'eau; que son élévation la favorise vers l'acide, et par un grand nombre d'expériences que nous ne rapportons pas ici, que l'endosmose est soumise à des lois tout à fait différentes de celles qui régissent la simple filtration capillaire. Nous ajouterons que les liquides acides sont les seuls qui aient offert le courant d'endosmose dirigé vers l'eau. L'acide sulfurique, par exemple, à la densité de 1,093, et à la température de + 10° centigrades, étant séparé de l'eau par un morceau de vessie, le courant est dirigé de l'eau vers l'acide; à la densité de 1,024, pour la même température et une partie du tube étant plongée dans l'eau, l'endosmose est dans un autre sens. Il y a absence d'endosmose à la densité de 1,07.

L'acide sulfureux qui, à la densité de 1,02, n'offre que la seule endosmose vers l'eau, avait assez d'énergie à la température de + 5°, comme à celle de + 25°.

L'acide hydrosulfurique se comporte de la même manière.

L'acide chlorhydrique, qui est le plus puissant pour opérer l'endosmose de l'eau vers l'acide, exige que l'on affaiblisse considérablement sa densité pour avoir un courant en sens inverse. Ainsi, à la température de + 22°, il faut que cette densité soit réduite à 1,003. A une température au-dessous de 22°, le même acide produit la même endosmose : en possédant une plus forte densité, le terme moyen où il y ait absence d'endosmose est la densité 1,017, à la température de + 10° centigrades. A cette même température et à la densité de 1,02, l'en-

dosmose est dirigée vers l'acide, et à la densité de 1,015, le phénomène est en sens inverse. A une température plus élevée, l'endosmose est dirigée vers l'acide. En employant une membrane végétale au lieu d'une membrane animale, la singularité de ces phénomènes est encore plus évidente.

Quand l'acide oxalique est séparé de l'eau par une membrane animale, l'endosmose est toujours dirigée de l'acide vers l'eau. On a rempli d'une solution de cet acide une gousse de baguenaudier, dont on a fait un endosmomètre; l'immersion dans l'eau de pluie a indiqué que l'endosmose se dirigeait vers l'acide. Il en a été de même avec une membrane d'*allium porum*. Ces effets inverses de ceux produits par la membrane animale sont les mêmes avec les acides tartrique, citrique et hydrosulfurique.

L'acide sulfureux à la densité de 1,02, qui produit avec une membrane animale l'endosmose vers l'eau, à toutes les températures au-dessus de zéro et jusqu'à 25°, ne jouit pas de cette propriété avec la membrane végétale, tandis qu'avec une lame d'argile cuite on a une endosmose très-énergique vers l'eau. Dans les expériences avec les acides, il n'a été question que du courant d'endosmose, mais l'on peut facilement voir le courant d'exosmose; il suffit de plonger le réservoir de l'endosmomètre contenant de l'acide nitrique et chlorhydrique dans un bocal rempli d'eau : on voit alors l'acide traverser la membrane et descendre dans l'eau sous forme de stries nombreuses.

M. Dutrochet, dans ses premières expériences, avait remarqué qu'en ajoutant un peu d'acide sulfurique ou hydrosulfurique à l'eau gommée, le courant d'endosmose cessait de se porter de l'eau vers l'eau gommée, de sorte que le liquide du tube s'abaissait. Cet effet est évidemment dû à la direction du courant d'endosmose de l'acide vers l'eau. On a vu plus haut que l'endosmose était due à l'existence d'un courant fort, opposé à un contre-courant faible; mais si ces deux courants, qui sont antagonistes, deviennent égaux, il ne peut s'accumuler de liquide ni d'un côté ni de l'autre. Dans ce cas, il y a absence d'endosmose.

On conçoit maintenant comment il se fait que la présence de l'acide hydrosulfurique dans les liquides qui renferment des substances animales en putréfaction, détruise l'endosmose. On a vu qu'avec tous les acides l'endosmose est dirigée vers l'eau quand leur densité est convenable; l'acide hydrosulfurique donne constamment cette direction.

Ajoutons à une solution de gomme ayant une faible densité une quantité considérable de cet acide ; il lui communiquera sa propriété. Si la quantité d'acide est moins considérable, le liquide mélangé tendra à couler par endosmose vers l'eau, avec autant de force que l'eau tendra à couler par endosmose vers ce même liquide mélangé. Les deux forces se feront alors équilibre, et il n'y aura plus d'endosmose. Si la quantité d'acide est faible, la puissance d'endosmose de l'eau de gomme l'emportera.

Au surplus, des expériences réitérées ont prouvé que c'est à la seule présence de l'acide hydrosulfurique dans les conduits capillaires de la cloison, qu'est due l'abolition de l'endosmose.

M. Dutrochet a entrepris quelques recherches dans le but de connaître les effets que présentent les liquides acides quand ils sont séparés des liquides alcalins par une membrane animale. La cloison était formée d'un morceau de vessie, et il mit dans l'endosmomètre une solution aqueuse de soude d'une densité égale à 1,069 ; le liquide extérieur était une solution aqueuse d'acide hydrochlorique d'une densité égale à 1,193 ; l'endosmose fut dirigée de l'alcali à l'acide dont la densité était supérieure. L'expérience fut continuée en diminuant graduellement la densité de l'eau acidulée. L'endosmose fut toujours dirigée de l'alcali vers l'acide, jusqu'à ce qu'on fût arrivé à la densité 1,086. Il n'y eut plus alors d'endosmose, et le phénomène fut produit en sens inverse, en continuant à diminuer la densité de l'acide. On arriva par conséquent à un point où la solution alcaline était inférieure en densité à celle de l'acide. Il en fut encore de même lorsque la densité de l'acide fut égale à celle de la solution alcaline, c'est-à-dire, à 1,069. A partir de ce point, en diminuant seulement la densité de la solution alcaline, l'endosmose ne changea pas de direction. Il en a été encore de même jusqu'à ce que la solution alcaline fût descendue à 1,00001. On voit par là que les solutions acides et alcalines, séparées par un morceau de vessie, se comportent absolument comme le font les solutions acides et l'eau pure dans les mêmes circonstances. Tels sont les phénomènes généraux observés jusqu'ici à l'égard de l'endosmose. Nous allons maintenant faire connaître les opinions émises sur leur production.

Théorie de l'endosmose.

On sait que Porette a prouvé qu'en divisant un vase en deux compartiments par un morceau de vessie, et remplissant d'eau chacun

des compartiments, si l'on mettait en communication les compartiments avec les deux pôles d'une pile, au moyen de deux lames de platine, on voyait l'eau transportée du compartiment positif dans le compartiment négatif, et s'élever dans ce dernier. M. Dutrochet répéta l'expérience avec un cœcum de poulet rempli d'eau, auquel il ajusta un tube de verre, et qu'il plongea également dans un vase rempli d'eau. L'eau du vase fut mise en communication avec le pôle positif et l'eau du cœcum avec le pôle négatif. L'eau du tube ne tarda pas à s'élever au-dessus des bords; l'expérience fut répétée en sens inverse, et le cœcum se vida. L'électricité produirait donc des effets semblables à ceux obtenus avec deux liquides de diverse densité, dans les expériences d'endosmose. Cette expérience tendait donc à donner une origine électrique aux phénomènes d'endosmose et d'exosmose; mais il suffit d'une simple analyse de tous ces phénomènes pour être convaincu que plusieurs causes concourent à leur production.

Poisson, en 1826, à l'époque où M. Dutrochet publia ses premières expériences, émit l'idée que les phénomènes pouvaient être dus à l'action capillaire, jointe à l'affinité des deux liquides hétérogènes. D'après cette manière de voir, il ne devrait exister qu'un seul courant au travers de la membrane séparatrice; courant dirigé vers celui des deux liquides qui est doué de la plus grande force d'attraction. Cette conséquence de l'analyse est en opposition avec les faits. On peut consulter, page 73 de l'ouvrage de M. Dutrochet sur l'endosmose, le passage de Poisson relatif à cette théorie.

G. Magnus publia, dans les *Annales de Poggendorf*, une théorie qui revient à peu près à celle de Poisson. On a, dit-il, une explication complète du phénomène, en regardant la vessie comme un corps poreux, et en admettant : 1° qu'il existe une certaine force d'attraction entre les molécules des liquides différents; 2° que les liquides différents passent plus ou moins facilement par la même ouverture capillaire. Plus loin il ajoute : Quand les molécules d'une dissolution saline quelconque auront entre elles plus de cohésion que celles de l'eau, elles passeront plus difficilement que l'eau par des ouvertures très-étroites, toutes choses égales d'ailleurs. Il en résulte que plus une dissolution est concentrée, plus elle aura de difficulté à pénétrer par des ouvertures capillaires.

Or, il n'en est pas toujours ainsi, comme les solutions acides le prouvent, ce qui montre que les données de Poisson et Magnus ne sont pas suffisantes pour expliquer les phénomènes. La théorie du

célèbre mathématicien est infirmée encore par ce fait, que les cloisons siliceuses sont incapables de produire l'endosmose, bien qu'elles possèdent la porosité, et par conséquent la capillarité nécessaire pour que le phénomène ait lieu.

D'autres physiciens ont rapporté ce phénomène à la différence de viscosité des deux liquides; le liquide le moins visqueux, filtrant avec plus de facilité que l'autre, devait augmenter sans cesse de volume. Suivant cette manière de voir, on serait obligé de considérer certains liquides très-peu denses comme des liquides très-visqueux, afin d'expliquer pourquoi l'endosmose est dirigée de l'eau vers l'alcool. Or, différents faits montrent que le courant d'endosmose n'est pas toujours dirigé du liquide le moins visqueux vers le liquide qui l'est le plus. Au surplus, pour montrer ce fait, M. Dutrochet a cherché la mesure comparative de la viscosité des liquides, en observant le temps que chacun d'eux, à volume égal, mettait à s'écouler par un tube capillaire de verre, à la même température. Il a reconnu, en expérimentant ainsi, que la viscosité de l'eau sucrée, qui contient une partie de sucre sur trente-deux parties d'eau, est très-peu supérieure à celle de l'eau; que la viscosité de l'eau gommée dans les mêmes proportions est bien supérieure à celle de l'eau sucrée précédente. D'autres faits tendent encore à prouver que l'endosmose ne peut être attribuée à la viscosité des liquides, et entre autres celui-ci, qu'il n'y a pas d'endosmose entre deux liquides n'ayant pas la même viscosité quand ils sont séparés par un diaphragme siliceux.

Dans l'origine, M. Dutrochet, pour expliquer les phénomènes d'endosmose et d'exosmose, avait admis que leur production était due à la différence de l'ascension capillaire entre deux liquides; mais ayant observé depuis des effets contraires dans la direction avec les acides et l'eau, cette exception devait infirmer la loi générale qu'il avait cherché à établir; dès lors il se borna à dire que cette loi ne pouvait être appliquée qu'aux faits généraux qui sont les plus nombreux. Ainsi, M. Dutrochet a donc posé en principe « que l'inégalité de l'ascension capillaire des deux liquides que sépare une cloison à pores assez petits pour s'opposer à la facile perméabilité de ces deux liquides, en vertu de leur seule pesanteur, est une des conditions générales de l'existence de l'endosmose qui, dans le plus grand nombre de cas, dirige son courant, du liquide le plus ascendant dans les tubes capillaires, vers le liquide le moins ascendant. Pour s'assurer jusqu'à quel point ce principe était fondé, l'inégalité de densité des liquides étant une cause d'endosmose, il a dû rechercher quelle

était la différence d'ascension capillaire, résultant d'une différence déterminée dans cette densité. Il fallait ensuite rechercher si la différence d'ascension capillaire des deux liquides était en rapport constant avec la différence de l'endosmose ; c'est ce qu'a fait M. Dutrochet.

On sait que l'eau est de tous les liquides celui qui s'élève le plus dans les tubes capillaires ; que les sels, ainsi que les substances qu'elle tient en solution, augmentent sa densité, et diminuent sa propriété capillaire ; propriété qui est également diminuée par la chaleur ; l'alcool et l'éther se comportent absolument comme les liquides denses.

Passons aux expériences. M. Dutrochet a d'abord expérimenté avec le même tube, à température égale, et prenant pour liquides l'eau et une solution de sel marin. On sait que la couche de liquide qui mouille intérieurement le tube est un des éléments de l'ascension capillaire. Si on opère avec de l'eau et un tube préalablement mouillé avec ce liquide, l'eau s'élèvera à une certaine hauteur ; mais si les parois ont été mouillées avec tout autre liquide, l'eau ne s'élèvera pas à la même hauteur. En vain voudra-t-on enlever avec de l'eau le liquide adhérent qui s'oppose à l'ascension de l'eau ; on ne peut y parvenir complétement qu'à l'aide du frottement. M. Dutrochet a opéré avec une solution de chlorure de sodium ayant une densité de 1,12, celle de l'eau étant 1 ; en ajoutant à cette solution un volume égal d'eau, la densité était égale à 1,06. Il avait donc ainsi deux solutions salines dont les excès de densité sur celle de l'eau étaient 0,12 et 0,06 ; et considérait ces deux excès, qui sont dans le rapport de 2 à 1, comme devant servir de mesure à l'endosmose produite par chacune des deux solutions salines par rapport à l'eau. L'expérience lui a montré effectivement que tel était le rapport du pouvoir de l'endosmose. Il a cherché ensuite le rapport entre la densité et l'ascension capillaire. Voici les résultats obtenus :

1° L'ascension capillaire de l'eau étant.....	12
L'ascension capillaire de la solution saline étant.....	6 $\frac{1}{4}$
L'excès de l'ascension capillaire de l'eau est.....	5 $\frac{3}{4}$
2° L'ascension capillaire de l'eau étant.....	12
L'ascension de la solution saline la moins dense étant.....	9 $\frac{1}{8}$
L'excès de l'ascension capillaire de l'eau est.....	2 $\frac{7}{8}$

Ces résultats nous montrent que les deux excès d'ascension capillaire de l'eau sur l'ascension capillaire de chacune des deux solutions salines sont également dans le rapport de 2 à 1. On peut se demander,

d'après cela, si l'on doit rapporter l'endosmose à la densité respective des liquides ou à leur ascension capillaire respective. Les expériences qu'il a faites pour décider l'alternative s'il existe un rapport entre le degré d'ascension capillaire des liquides, et l'endosmose qu'ils sont aptes à produire quand ils sont séparés de l'eau par une membrane animale, n'ont peut-être pas encore été assez multipliées pour résoudre la question. Quant à la cause du phénomène, M. Dutrochet se borne à dire qu'elle existe dans la cloison séparatrice.

Nous avons exposé notre manière de voir touchant les causes de l'endosmose (*Traité de l'electricité*, t. IV, pag. 197); mais, en raison des développements dans lesquels nous serions obligés d'entrer pour la rappeler ici, nous dirons seulement que M. Dutrochet, qui l'a discutée, ajoute qu'en admettant les causes générales indiquées par Poisson et Magnus, nous faisons intervenir encore la force du courant électrique résultant de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre, agissant par impulsion, courant qui tend à pousser la solution alcaline vers l'eau, direction opposée à celle du courant d'endosmose qui a lieu constamment de l'eau vers la solution alcaline. Il prétend que, dans ce cas, nous admettons que le courant d'endosmose n'est produit que par la seule action des causes admises par la théorie de Poisson et Magnus, la force des courants électriques, que nous indiquons étant vaincue par l'action prépondérante de ces causes. M. Dutrochet fait remarquer que l'absence d'endosmose avec les cloisons argileuses qui ne doivent pas s'opposer à la production des effets électriques, contrarie à la fois la théorie de Poisson et Magnus et l'addition que nous y avons faite, et que nous avons négligé les effets électriques résultant de l'affinité des deux liquides pour la cloison; enfin il reconnaît que les idées que nous avons émises jettent quelque jour sur la cause de l'endosmose, et qu'il faut s'y arrêter en rejetant tout ce qui a été fait pour l'expliquer.

Des phénomènes d'imbibition et d'absorption dans les animaux.

Nous avons dit que, dans les actes de la vie, il se produit des phénomènes physiques et chimiques dus à des forces qui sont subordonnées aux forces vitales, puisque celles-ci les dominent sans cesse. La dépendance est telle que les solides et les liquides de l'organisme n'obéissent pas toujours aux lois physiques et chimiques, comme ils le feraient si leurs parties n'étaient pas soumises à l'action vitale. Développons un peu plus notre pensée.

Les phénomènes qui se produisent dans les corps quand la vie est éteinte sont en général des phénomènes d'imbibition et d'endosmose, qui sont d'autant plus intéressants à étudier, qu'ils servent à montrer de quelle manière les forces vitales résistent à l'action des forces physiques. Les liquides circulent dans les corps organisés en vertu d'actions physiques et chimiques, dans lesquelles intervient le jeu des tissus, en raison de leur constitution et de leurs propriétés vitales, telles que la contractilité, l'excitabilité, etc. Ces tissus sont donc les organes de la vie, puisque c'est entre leurs molécules que s'opèrent toutes les fonctions qui concourent au maintien de l'existence des corps. La connaissance de ces tissus est donc indispensable quand on veut étudier l'intervention des forces physiques dans les phénomènes physiologiques. L'ensemble des propriétés des tissus constitue la force de tissu qui cesse quelque temps après la vie. Quand elle n'existe plus, les forces physiques et chimiques agissent seules. Voyons d'abord ce que devient le sang après la mort. Le système artériel contient à peu près 15 kil. de sang dans l'état de vie. Après la mort, on ne trouve tout au plus qu'un kilog. de caillots veineux dans les veines. Le côté gauche du cœur est à peu près complétement vide, ainsi que les artères. Le côté droit, les grosses et les petites veines, sont la plupart du temps dépourvus de sérosités. Ces sérosités, probablement, filtrent à travers les parois vasculaires pour imbiber les divers tissus de l'organisme. Le sang tend à s'accumuler dans les parties les plus déclives, telles que la partie postérieure du tronc, si elle est appuyée.

L'imbibition a lieu plus facilement en été, sans qu'il y ait pour cela putréfaction. Il est probable que, sous l'empire de la vie, tous les tissus, les muscles, les parois vasculaires, se trouvent dans un état de tension, auquel succède, à la mort, un relâchement général qui produit le phénomène en question. Nous citerons comme un phénomène frappant, l'imbibition de la plupart des organes parenchymateux par le sang filtrant à travers les parois des vaisseaux.

On trouve fréquemment des imbibitions sanguines dans le poumon, le foie, la rate, etc. Les congestions sanguines à la suite des maladies disparaissent souvent à l'instant de la mort par l'extinction de la force vitale qui résistait. On observe des effets semblables dans les érisypèles, les ophthalmies, qui disparaissent souvent quelques heures après la mort.

Quand l'estomac renferme des liquides à l'instant de la mort, il arrive souvent qu'ils imbibent la muqueuse ainsi que les membranes constituant les parois de l'estomac. Il faut néanmoins avoir un peu de

pratique pour distinguer ces altérations cadavériques de celles qui sont le fait des maladies. Quelquefois, l'imbibition des liquides qui se trouvent dans l'estomac est si considérable, que ces liquides perforent les parois, comme Carzweli l'a observé.

Les phénomènes d'imbibition ont également lieu dans les intestins ; la bile filtre un peu à travers les parois qui l'enveloppent ; les environs de la vésicule du fiel sont fortement teints par la bile infiltrée. Chose digne de remarque, l'urine ne filtre pas et n'imbibe jamais la vessie. D'après des observations de M. Alfred Becquerel, l'exosmose de l'urine n'a pas lieu, tandis que l'endosmose des liquides extérieurs s'opère.

Suivant M. Nathalie Guyot, le cerveau jouit de propriétés hygrométriques remarquables après la mort. Un morceau de substance cérébrale d'un chien, d'un chat, etc., plongé dans de la sérosité ou dans de l'eau, double de poids. Pendant la vie, les ventricules cérébraux sont remplis d'une sérosité claire et transparente qui, après la mort, est absorbée entièrement, ou du moins en grande partie, par le cerveau.

L'hydrocéphale aiguë chez les enfants, consiste dans l'épanchement d'une quantité anomale de sérosité dans les ventricules du cerveau. Après la mort, on ne retrouve que peu ou point de cette sérosité. S'il y a des différences dans les effets produits, elles proviennent de propriétés hygrométriques particulières à certains cerveaux.

L'hydropisie consiste dans l'épanchement d'une certaine quantité de sérosité dans le tissu cellulaire, ou les membranes séreuses, telles que le péritoine, membrane qui revêt intérieurement les parties du bas-ventre. Après la mort, cette sérosité imbibe et pénètre les organes avec lesquels elle est en rapport ; ce qui n'a pas lieu sous l'empire de la vie.

Le péritoine laisse passer une certaine quantité de sérosité dans la vessie ; quand cette dernière contient de l'urine, celle-ci devient alors albumineuse. Cet effet n'a pas lieu seulement dans l'hydropisie, mais encore dans beaucoup d'autres cas, où il n'existe pas d'épanchement dans le ventre (1).

Après la mort, le globe de l'œil n'est plus arrondi, saillant ; il devient mou, flasque, et contient moins de liquides. Ceux-ci passent, par l'effet de l'imbibition, à travers les parois du globe de l'œil. Ce qui le prouve, c'est que la cornée transparente devient demi-opaque et na-

(1) Alfred Becquerel, *Séméiotique des urines*, Paris, 1841.

crée, parce qu'elle a été imbibée par les liquides contenus dans les chambres de l'œil.

On produit des effets d'absorption dans le membre d'un animal, en détruisant la force vitale, arrêtant, au moyen d'une ligature, l'arrivée du sang artériel, et annihilant l'influence nerveuse; la gangrène ne tarde pas alors à se déclarer.

Dans certaines maladies, comme la peste, les typhus, on observe des effets analogues, particulièrement dans les poumons; car rien n'est plus commun que d'y trouver des congestions à la partie la plus déclive. Au moment de l'agonie, où la force vitale diminue de plus en plus, les forces physiques tendent sans cesse à l'emporter. Alors, dans ce cas, la mort arrive la plupart du temps par le poumon, attendu que le sang, filtrant à travers les vaisseaux, comprime fortement cet organe et l'empêche de fonctionner.

Lors de la convalescence, la diminution de la force vitale qui s'est opérée pendant la maladie, ayant donné de la prédominance aux forces physiques, il en résulte des hydropisies dues à la filtration de la sérosité dans le tissu cellulaire ou à travers les parois vasculaires. Cet effet s'opère plus facilement chez les enfants que chez les adultes. On trouve fréquemment dans un membre paralysé, où il y a diminution de la force vitale, une infiltration de sérosité, à travers les parois vasculaires, dans le tissu cellulaire.

Ces faits sont d'une grande importance, en ce qu'ils montrent la lutte continuelle qui existe entre le principe de la vie et les forces physiques. Le devoir du physicien est d'établir les rapports qui existent entre toutes ces forces, afin de mettre le médecin à même d'employer les moyens convenables pour en maintenir l'équilibre; mais il faut pour cela que ce dernier étudie l'action des forces physiques, ce qu'il ne fait pas toujours, car il ne voit souvent que des phénomènes physiologiques, dus seulement à des forces vitales, là précisément où existent des effets à la production desquels concourent toutes les forces dont la nature dispose pour régir les corps organisés. Cette observation doit être prise en considération par tous ceux qui se livrent à l'art de guérir; car, en général, on attribue à des causes occultes ce qui n'est quelquefois qu'un effet naturel des forces connues. Gardons-nous surtout, pour expliquer des faits complexes, de faire intervenir des forces nouvelles sans nous être assurés que celles que nous connaissons sont insuffisantes. On ne doit jamais perdre de vue que la nature ne dispose que de peu de principes, et qu'en lui en attribuant un grand nombre, on l'amoindrit en lui faisant perdre son unité, en même temps que

l'on s'éloigne du point de vue philosophique sous lequel on doit cultiver la science.

Nous ne quitterons pas ce qui concerne le phénomène d'imbibition, dans lequel intervient l'endosmose, chez les animaux vivants, sans parler de la propriété que possèdent les os d'absorber le principe colorant de la garance.

De l'absorption du principe colorant de la garance par les os.

Prise à l'intérieur par les animaux, la garance pénètre leurs os et les colore en rouge. Ce phénomène a été observé, pour la première fois, vers le milieu du seizième siècle, par Miseau, médecin, à Paris; mais il n'a été bien étudié qu'un siècle et demi après par Pelchier et Duhamel. Le premier, à la suite d'une observation due au hasard, mêla de la racine de garance en poudre à la nourriture qu'il destinait à un coq; au bout de seize jours, l'animal étant mort, ses os avaient pris une teinte rouge, tandis que toutes les autres parties, les muscles, les membranes, les cartilages, avaient conservé leur couleur.

Duhamel Dumonceau confirma cette expérience sur des poulets, des pigeons, des cochons, et prouva que la garance avait la propriété de ne rougir que les os; ainsi les plumes, le bec, la corne, les ongles, n'éprouvaient aucun changement. Suivant le même observateur, lorsque des os ont été rougis par la garance, si on interrompt le régime alimentaire, la couleur rouge ne disparaît pas; seulement les couches rouges sont recouvertes par des couches blanches provenant du travail incessant des os; de sorte que, en soumettant un animal alternativement au régime de la garance et au régime ordinaire, on a des couches alternatives, blanches et rouges.

M. Flourens, qui a repris le travail de Duhamel, a eu l'occasion d'observer des faits intéressants, mais qui ne sont pas de notre compétence. Nous citerons seulement une observation qui prouve que le phénomène d'imbibition s'opère quelquefois dans l'espace de cinq heures, quand on soumet à l'expérience des oiseaux, tels que des pigeons de deux à trois semaines au plus; les résultats les plus prompts ont été obtenus sur des sujets qui n'avaient que quinze à seize jours. Il paraît que l'absorption est d'autant plus faible que l'animal est plus vieux. Enfin, M. Flourens a montré, comme Duhamel l'avait déjà observé, que les dents se coloraient par la garance;

mais Hunter et Pelchier ont reconnu que cette faculté appartenait à la partie osseuse et non à l'émail.

Robiquet, auquel on doit un beau travail sur le principe colorant de la garance, a cherché la nature de la substance qui colorait en rouge les os des animaux, et a reconnu que des deux matières colorantes de la garance, c'était plutôt la purpurine que l'alizarine qui se fixait sur les parties.

Le pouvoir absorbant des os à l'égard du principe colorant de la garance est très-important à étudier, en raison des conséquences que l'on peut en tirer en physiologie; d'un autre côté, il nous porte à croire que d'autres substances non colorées peuvent également se répandre par imbibition dans le système osseux; seulement les effets de couleur manquent pour nous accuser leur présence; l'analyse chimique, dans ce cas, doit y suppléer. Il serait donc à désirer que des physiologistes, de concert avec des chimistes, fissent à cet égard des expériences qui ne pourraient manquer d'avoir un grand intérêt.

Des phénomènes d'imbibition, d'absorption, d'hygroscopicité dans les végétaux.

Tous ces phénomènes sont des effets d'imbibition résultant de la capillarité et de l'endosmose.

Quoique leur type soit le même, les tissus des plantes varient d'une plante à l'autre, en raison de la dureté, de la porosité, de la nature du liquide et de celle des matières déposées, etc. Outre ces propriétés, les tissus en ont d'autres dépendant de leur organisation, et dont on doit tenir compte : 1° l'extensibilité, qui varie suivant que les substances absorbées sont plus ou moins liquides; elle a une limite; elle est nécessaire à la croissance de la plante; quand elle cesse, celle-ci meurt; 2° l'élasticité, propriété dépendant de la précédente; elle en diffère en ce qu'elle permet aux molécules de revenir à leur position primitive; 3° l'hygroscopicité, qui, suivant M. de Candolle, est la faculté d'absorber l'eau, laquelle dépend de causes physiques, chimiques et vitales. Dans les corps inorganiques, il y a dissolution, saturation avec suintement; dans les corps organisés, il peut y avoir distension, allongement des parties; comme les cheveux, les fanons de baleine, les divers tissus végétaux qui nous en offrent de nombreux exemples. Les tissus végétaux ayant pour base un réseau formant un tissu lâche, doivent absorber

d'autant plus d'eau qu'ils renferment moins de matières étrangères, comme les dépôts ou extensions scarieuses privées de nourriture en sont des exemples.

L'hygroscopicité produit l'allongement des tissus. Si des parties filiformes se tordent en spirale, l'eau absorbée les détord; la sécheresse produit un effet contraire. L'hygroscopicité dépend de plusieurs causes physiques qui ne tiennent pas à la vitalité, mais qu'il faut rapporter à la capillarité et à l'endosmose. Cependant, il y a une différence entre l'hygroscopicité et la capillarité proprement dite. Cette dernière s'exerce dans des corps dont les interstices sont visibles, tandis que la première ne se manifeste que lorsque le microscope ne laisse point apercevoir de pores ; mais on peut se demander où commence l'endosmose et où finit l'hygroscopicité. Ce qu'il y a de plus probable, c'est que l'hygroscopicité dépend tantôt de la capillarité, tantôt de cette cause et de l'endosmose.

Voici un tableau qui renferme le degré d'allongement de divers tissus dans une même circonstance :

Pour un allongement d'un cheveu de.....	8mm.
Celui d'une lanière de *fucus tendo* était de...	50
— — *digitatus*.....	78
— — *laureus*.....	90
— — *saccharinus*....	170

On a remarqué que la force hygroscopique de certaines parties du tissu végétal offre assez de régularité pour qu'on puisse les employer comme hygromètre.

Les plantes, ainsi que les autres corps organisés, quand elles ne sont pas saturées d'eau, en prennent aux corps qui le sont, et avec lesquels on les met en contact. L'examen de l'aptitude plus ou moins grande des plantes à absorber l'eau, et le détail des instruments qui servent à mesurer cette absorption, constituent l'hygroscopicité ou l'hygrométrie, dont nous n'avons pas à nous occuper. L'on a vu plus haut, que lors de l'absorption il y a mutation dans la forme, contraction et dilatation, suivant le tissu et la distension des fibres. Une corde, faite de fibres tendues, éprouve un renflement, puis un raccourcissement. Des toiles fabriquées avec des fils tords éprouvent un rétrécissement après avoir été mouillées. Il n'en est pas de même du papier, composé de filaments très-déliés, très-courts, et disposés irrégulièrement dans toutes sortes de directions.

De l'ascension de la séve dans les végétaux.

Cette question intéresse la physique appliquée, en raison des causes physiques qui président à la production de ce phénomène, et entre autres de l'endosmose, indépendamment de l'excitabilité que possèdent les tissus, et en vertu de laquelle l'ascension cesse quelque temps après la mort. Elle a excité les recherches des physiologistes de toutes les époques. Du temps de Descartes, on n'y voyait que l'intervention des forces physiques et mécaniques; mais après les travaux de Grove, on fut obligé de reconnaître l'action des cellules. Malpigi fit intervenir la raréfaction de l'air et la condensation de la séve; Davy, l'action capillaire. Mais cette force est insuffisante pour expliquer la vitesse d'ascension et la cessation de celle-ci à la mort du végétal. Il sentit lui-même l'insuffisance de son explication, et chercha un autre principe; mais ce n'est qu'après la découverte de l'endosmose que l'on put savoir jusqu'à quel point intervenait l'action de cette force dans la production du phénomène. Il ne sera question ici que des moyens d'évaluer la force d'ascension.

On avait reconnu que la séve prise au sol par les radicelles, élaborée dans des organes particuliers, était transportée dans toutes les parties du végétal pour en entretenir la vie. Voulant donc mesurer la force d'ascension de la séve, Hales fit usage du procédé suivant.

Ayant coupé à $0^m,189$ de terre un cep de vigne de 4 à 5 millimètres de diamètre, il fixa à son sommet, pl. IX, fig. 21, au moyen d'une douille de cuivre, un tube de verre de $2^m,33$ de long, il entoura la jointure *b* de mastic, et recouvrit le tout de vessie mouillée, liée avec de la ficelle; un second, puis un troisième tube furent adaptés au premier, au suivant, etc., jusqu'à une hauteur totale de 8 mètres. Le cep n'étant pas encore en séve, on versa 66 centimètres d'eau dans le tube; à la fin de la journée, l'eau fut absorbée, et il n'en resta plus que 9 centimètres. Le lendemain, la séve ayant commencé à monter, l'eau s'éleva de 9 centimètres au-dessus du niveau de la veille; en quelques jours elle monta jusqu'à 7 mètres, et aurait été plus haut, suivant Hales, si une fuite ne se fût déclarée dans le dernier joint. Dans le fort de la séve, l'ascension avait lieu la nuit comme le jour; mais plus pendant le jour, et plus encore quand la température s'élevait.

L'expérience ayant été répétée après le temps de la séve, le chicot absorba le premier jour 33 centimètres d'eau par heure; le second jour, beaucoup moins; puis l'absorption devint insensible.

Suivant Hales, la force d'aspiration est à peu près proportionnelle à l'étendue de la surface d'évaporation, laquelle surface joue un grand rôle dans le phénomène.

Le même physicien prit un tournesol en fleur, qu'il mit dans un pot fermé soigneusement avec une lame de plomb. Un tube de verre étroit, de 27 centimètres de hauteur, fut placé près de la tige, afin d'établir une communication de l'intérieur à l'extérieur; un autre tube de 6 centimètres de long et de 3 centimètres de diamètre, servait à arroser. L'ouverture inférieure du pot fut fermée, et, pendant vingt-cinq jours, le pot fut pesé, avec la plante qu'il contenait, matin et soir; après quoi la tige de la plante fut coupée au niveau de la lame de plomb, et la partie mise à nu recouverte de bon ciment. Hales trouva que la transpiration à travers les pores était de 372 grammes par jour; et que, dans une journée sèche et chaude, elle s'était élevée jusqu'à 934 grammes, tandis que, pendant une nuit chaude et sèche, sans rosée, elle était de 93 grammes; la moyenne pendant douze heures était de 624 grammes. Avec une rosée abondante ou un peu de pluie, le pot et la plante augmentaient d'environ 90 grammes. Cette expérience fut répétée sur une menthe, plante qui végète très-bien dans l'eau, c'est-à-dire, qu'il voulut déterminer avec exactitude la quantité d'eau absorbée et exhalée jour et nuit, suivant que le temps était sec ou humide; à cet effet, il cimenta une menthe *menr* (pl. IX, fig. 22) dans un siphon renversé *ryxb*, qu'il remplit d'eau. Un jour du mois de mars, la plante aspira une quantité d'eau suffisante pour faire baisser le niveau de 2 centimètres; la nuit cet abaissement ne fut que de 1 centimètre. Dans une autre nuit, où la température descendit jusqu'au point de congélation, le niveau d'eau ne changea pas.

L'expérience fut faite d'une manière inverse avec une branche de poirier de 1 mètre de longueur, de 15 millimètres de diamètre, chargée de feuilles, laquelle fut fixé à un tube de 2 mètres 31 centimètres de hauteur, et de 16 à 17 millimètres de diamètre, lequel fut rempli d'eau. La branche entière fut plongée dans un vase rempli d'eau. Pendant les premières heures, l'eau s'abaissa de 20 centimètres; la nuit suivante, l'abaissement fut de 20 centimètres, et de 12 centimètres le lendemain. Le troisième jour, la branche ayant été retirée de l'eau et suspendue avec le tube dans un lieu où l'air circulait, l'eau s'abaissa de 81 centimètres en douze heures. Cette expérience montre combien est grande l'exhalaison des plantes, puisque, lorsque la branche était plongée dans l'eau, la colonne d'eau était de $2^{m},31$, au-

dessus de la surface du liquide; tandis qu'elle ne pouvait que très-peu exhaler à travers les feuilles, jusqu'à ce que la branche fût exposée en plein air.

Des liquides autres que la séve peuvent être aspirés par les plantes, comme le prouvent les faits suivants :

Les naturalistes sont dans l'usage d'introduire dans les tissus des végétaux, par aspiration, des liquides colorés, dont la présence dans les diverses parties du végétal sert à faire connaître leur contexture intime, ainsi que la direction des conduits qui servent à les transporter. Mais toutes les matières colorantes ne traversent pas les tissus, attendu, ou qu'elles n'y pénètrent qu'avec difficulté, s'y arrêtent bientôt, ou enfin parce qu'elles peuvent altérer ou dénaturer les parties du végétal. On cite comme exempt des inconvénients que nous venons de signaler, le suc du *phytolaca decandra*. Ce suc, qui a été signalé dans un mémoire de Labaisse, inséré dans le *Recueil des prix de l'académie de Bordeaux*, tom. IV, peut servir à injecter en rouge par absorption toutes sortes de fleurs blanches, et même des feuilles vertes. D'après M. Biot, beaucoup de plantes se sont refusées à l'injection, d'autres s'y sont prêtées avec rapidité. En quelques minutes, il a veiné d'une multitude de lignes rouges tous les pétales d'une rose blanche de tous les mois, tandis qu'une rose muscade, également blanche, n'a rien éprouvé. Ce qu'il y a de particulier, c'est que sur des fleurs de même espèce, prises sur le même individu, les unes résistent à l'injection, tandis que d'autres s'y prêtent avec une grande facilité. M. Biot a fait également un grand nombre d'expériences sur les fleurs de jacinthe blanche.

Des effets produits dans les végétaux par l'imbibition de substances vénéneuses et montrant l'influence de l'endosmose.

Cette question, qui est du ressort de la physique végétale, doit néanmoins attirer notre attention, puisque nous examinons de quelle manière les liquides de diverses natures sont absorbés par les végétaux. Elle a été traitée par Jæger, Séguin, Marcati et Macaire. Le mode d'expérimentation employé par ces savants est très-simple : il suffit d'arroser des plantes en végétation avec les solutions d'essai; elles périssent quand on arrose avec des solutions arséniatées. Toutes les familles des plantes participent aux effets de l'empoisonnement; l'absorption d'eau renfermant de l'arsenic change la couleur des pétales, qui devient brune, jaunâtre ou blanchâtre. La rose à

cent feuilles devient pourpre ou parsemée de taches pourpres. La vapeur du mercure peut être absorbée par les plantes, qui alors languissent, se dessèchent et meurent. Le mercure introduit dans un arbre n'est nullement absorbé, comme M. de Saussure l'a reconnu par une expérience de trente ans. Les solutions métalliques sont également absorbées par les plantes, ainsi que le prouve une expérience de Philipps sur un jeune peuplier arrosé avec une solution cuivreuse; il ne tarda pas à mourir, en commençant par les branches inférieures; le bois était tout imprégné de solution cuivreuse. Les plantes absorbent également la fumée de bois, composée d'eau, d'huiles en vapeurs et de matières carbonacées; les jeunes végétaux périssent promptement; les jeunes pousses paraissent brûlées, et les feuilles désarticulées de leurs tiges.

M. Boucherie a fait une application très-heureuse de la propriété absorbante des végétaux et des arbres pour les préserver des variations de volume, diminuer leur combustibilité, augmenter leur densité, leur ténacité, et leur donner des couleurs durables plus ou moins vives et plus ou moins variées. A cet effet, on les coupe en pleine séve et on les plonge dans une cuve renfermant la solution que l'on veut leur faire aspirer. En quelques jours, les liquides sont transportés jusque dans les feuilles, à l'exception du cœur. Pour les sujets âgés, il suffit que l'arbre n'ait qu'un bouquet de feuilles : l'effet est le même, que l'arbre soit couché ou debout; il n'est pas même nécessaire de couper l'arbre en entier; il suffit de pratiquer une cavité au fond. Les pyrolignites qui renferment de la créosote durcissent le bois et le garantissent des piqûres des insectes. Les chlorures terreux et les eaux-mères des marais salants donnent au bois de la souplesse et de l'élasticité. Ainsi préparé, le bois peut être divisé en feuilles, tordu en spirale, sans perdre de son élasticité; il ne se fend pas dans la sécheresse et ne peut propager l'incendie.

L'ébénisterie pourra tirer parti des nuances variées dont on peut colorer les bois. Le pyrolignite de fer leur donne une teinte brune qui se marie bien avec le ton du bois non imbibé. En faisant absorber ensuite une matière tannante, le bois prend une teinte noire; si, au lieu de tannate, on prend du prussiate de potasse, il se forme du bleu de Prusse. En employant successivement de l'acétate de plomb et du chromate de potasse, on a du chromate de plomb; et, par l'absorption successive de chacune des substances précitées, on peut produire des nuances bleues, jaunes et brunes assez variées.

La séve portant continuellement dans les végétaux, par l'effet de

l'endosmose, diverses espèces minérales qui sont déposées par l'effet de l'évaporation, ou même décomposées par l'action vitale, il est possible de produire différentes réactions, en faisant absorber successivement diverses substances salines. Rappelons succinctement quelques-unes des substances que l'on rencontre ordinairement dans les plantes, et qu'on pourra essayer de reproduire par ce moyen. Parmi les terres que l'on trouve dans les végétaux, pures ou combinées, on doit citer la chaux, la magnésie, la silice et l'alumine. La chaux existe dans tous les végétaux, excepté dans le *salsola soda*. On a avancé qu'elle se trouve à l'état de chaux vive, dans la bulbe de l'ail, l'écorce de liége, et se présente sous la forme d'efflorescences blanches à la surface du *chara* exposé à l'air. Elle existe à l'état de carbonate dans presque toutes les plantes, particulièrement dans les pailles des graminées. On la trouve à l'état de sulfate dans le bois de Campêche, l'écorce de bouleau, la racine d'*aconitum lycoctonum*, de *rhubarbe;* à l'état de phosphate ou de sousphosphate dans les feuilles d'aconit napel, les racines de pivoine, de réglisse, etc.; à l'état de nitrate dans la bourrache, l'ortie, l'hélianthe, la pariétaire; à l'état de chlorure dans la racine d'*aconitum lycoctonum*, le suc des feuilles de tabac. La magnésie est moins abondante que la chaux dans les végétaux; on la rencontre, dit-on, à l'état de terre dans le liége, et dans les graines et pailles des graminées.

La silice pénètre également dans les végétaux par voie de suspension ou de solution. On la trouve en quantité considérable dans la partie extérieure et les concrétions des monocotylédones, dans les feuilles, dans plusieurs grains, etc. Suivant Davy, l'épiderme du rothan en contient une quantité suffisante pour faire feu au briquet, ou même en frottant deux morceaux l'un contre l'autre.

Les concrétions du bambou appelé *tabachir* sont formées de silice presque pure.

Dans les dicotylédones, la silice est ordinairement rare, si ce n'est dans les feuilles. Suivant M. de Saussure, elle varie dans les espèces qu'il a essayées de 3 à 14.

L'alumine est la terre qui se trouve en moins grande quantité dans les végétaux. Suivant M. de Saussure, elle existe à peine pour un centième dans leur cendre.

Passons maintenant aux alcalis.

On sait que la potasse existe dans presque tous les végétaux; elle s'y trouve à l'état de potasse hydratée ou de sous-carbonate, particulièrement à ce dernier état. On trouve aussi du chlorure de potas-

sium dans la graine de lin, le céleri, l'absinthe, les feuilles de tabac, la paille de froment, etc.

Le sulfate de potasse existe dans beaucoup de plantes, dans la paille de froment, la bulbe de l'ail, les plantes maritimes, etc.

Le phosphate se trouve dans le fruit du marronnier d'Inde, la graine de lin, la fève, etc. Le nitrate de potasse dans les racines de plusieurs plantes, et en particulier dans les fanes de la betterave.

La soude se rencontre ordinairement dans les plantes qui végètent dans le voisinage des eaux salées. Suivant M. Chevreul, elle y est à l'état d'oxalate.

Parmi les métaux qui existent dans les plantes, on cite spécialement le fer, le manganèse, puis le cuivre, qu'on ne trouve qu'en quantité très-minime. Quant aux corps non métalliques, nous citerons le chlore, l'iode, le soufre qui est à l'état pur dans les crucifères, particulièrement dans les graines de moutarde, dans les fleurs d'oranger, dans le céleri ; enfin le phosphore se montre à l'état d'acide phosphorique dans le suc de l'ognon, l'ergot des céréales, etc.

Une discussion s'est élevée entre les physiologistes pour savoir si ces substances étaient formées dans l'acte de végétation ou bien si elles étaient tirées du sol sans avoir éprouvé de décomposition. Ceux qui pensent que leur présence est due à l'absorption, disent que toutes ces substances se trouvent dans les terrains où croissent les végétaux; que la quantité en est d'autant plus grande qu'il s'en trouve davantage dans le sol, et que les mêmes espèces de végétaux présentent des produits différents, lorsqu'elles croissent dans d'autres terres. C'est ainsi que, dans le voisinage de la mer, la soude est substituée à la potasse.

Davy ayant cultivé de l'avoine dans un sol composé de carbonate de chaux, la plante y vécut mal, et donna moins de silice que dans les terrains où on la cultive ordinairement. Lampadius émit une opinion opposée, en assurant que du seigle qu'il avait cultivé dans de la silice, de l'alumine, de la chaux, de la magnésie, a donné les mêmes résultats à l'analyse; mais on a élevé des doutes sur l'exactitude de cette assertion.

Nous ne citons uniquement ces faits que pour faire sentir la nécessité d'étudier avec soin les phénomènes d'absorption; cette question, quoique du domaine de la physiologie végétale, appartient aussi aux sciences physico-chimiques, attendu qu'il est indispensable de faire végéter des plantes dans des matières pulvérulentes de diverse nature, de les arroser avec des solutions également diverses, de fa-

voriser les phénomènes d'absorption, d'étudier les tissus à diverses époques de la végétation et de les analyser. Il faut, en outre, connaître tout ce qui concerne la capillarité et l'endosmose. Ce sont tous ces motifs qui nous ont engagé à entrer dans les détails que nous venons de présenter. Voyons comment on peut expliquer l'ascension de la séve dans les végétaux à l'aide des phénomènes d'endosmose.

Explication de différents phénomènes dépendant de l'endosmose. De l'ascension de la séve dans les végétaux.

L'état de réplétion dans les végétaux peut être considéré comme résultat de l'endosmose, dès l'instant qu'il se trouve dans les organes un liquide plus dense que la séve qui doit s'infiltrer à travers les parois. La séve lymphatique étant introduite avec excès dans le liquide laiteux, distend les organes qui contiennent ce dernier; leurs parois distendues, réagissent par leur élasticité sur ce liquide, qu'elles expulsent en se resserrant comme s'il y avait une contractilité; c'est ce qu'on observe dans le jeune bois de figuier que l'on vient de couper; il sort de la plaie un liquide laiteux. Suivant cette manière de voir, l'ascension de la séve dépendrait de deux actions : 1° d'une impulsion; 2° d'une attraction.

L'impulsion est mise en évidence au printemps par l'émission de la séve à l'extrémité tronquée des branches de la vigne; l'ascension, par l'attraction qui a lieu lorsque l'on plonge dans l'eau l'extrémité inférieure d'une tige coupée. Voyons, d'après M. Dutrochet, quelle est la cause de l'impulsion de la séve et de quel lieu elle part. Ce physiologiste avait choisi une branche de vigne longue de 2 mètres; il en coupa l'extrémité, et vit la séve s'écouler goutte à goutte d'une manière continue. Il coupa ensuite la tige d'un seul coup, près du sol; aussitôt l'écoulement de la séve par l'extrémité supérieure cessa. Dès lors la force d'impulsion n'avait pas son siége dans les organes de la tige, puisque, par l'effet de la pesanteur, la séve s'écoulait par le bas, la portion de la tige adhérant au sol continuant à verser de la sève. La terre ayant été enlevée ainsi que la racine, et celle-ci coupée transversalement, la séve s'écoula lentement de la partie inférieure de la racine restée dans le sol. En continuant ainsi ses sections, il trouva que la cause impulsive de l'ascension de la séve avait son siége dans les extrémités des racines ou dans le chevelu. Ayant pris ensuite un filament de chevelu dont la spongiole était assez dé-

veloppée pour pouvoir facilement être observée, il mit la spongiole dans l'eau, et vit aussitôt la séve suinter par l'extrémité supérieure du chevelu et sortir par cette même ouverture; la cause d'impulsion existait donc dans les spongioles. Or, la spongiole du chevelu, examinée au microscope, paraissait entièrement composée de tissus cellulaires; la partie centrale, formée de cellules articulées en séries longitudinales, était contiguë avec le système cortical de la radicelle. A l'aide d'une goutte d'acide nitrique, M. Dutrochet reconnut que le tissu cellulaire qui composait toute l'organisation de la spongiole renfermait dans ses cellules un liquide très-dense, coagulable par cet acide. Au moyen de ces données, il put expliquer l'ascension de la séve de la manière suivante: L'eau dont la terre est imbibée est introduite par un effet d'endosmose dans les cellules remplies d'un liquide dense, et cette eau, ou séve lymphatique qui pénètre sans cesse, est chassée dans les organes de la tige par lesquels s'opère son ascension. Les expériences faites avec l'endosmomètre prouvent que l'ascension du liquide dans le tube est capable de supporter le poids de plus d'une atmosphère, ce qui rend compte de la force par laquelle la séve est poussée de bas en haut dans la vigne. Donnons plus de développement à cette théorie, et pour cela commençons par examiner comment s'opère l'ascension de la séve dans une tige privée de ses racines par une troncature, et dont l'extrémité coupée plonge dans l'eau. Hales ayant remarqué que les végétaux aspirent d'autant plus de séve qu'ils ont plus de feuilles, en avait conclu aussitôt que la cause résidait dans les feuilles, lesquelles exerçaient une succion du liquide qu'elles livraient ensuite à l'évaporation.

M. Dutrochet combattit cette explication, en disant que si la vacuité des cellules des feuilles était la cause de l'ascension de la séve, l'ascension devrait être d'autant plus rapide et d'autant plus abondante, que la vacuité des cellules serait plus considérable. Or, l'expérience lui a prouvé qu'il n'en était pas toujours ainsi. Une série d'expériences que nous ne pouvons rapporter l'ont conduit aux conséquences suivantes:

1° Que la vacuité des cellules de la plante n'est point la cause de l'ascension de la séve;

2° Que cette ascension n'a lieu que lorsqu'il existe préalablement une quantité d'eau suffisante dans le tissu de la plante;

3° Que la diminution peu considérable de la quantité de cette eau, préalablement existante dans le tissu de la plante, augmente considérablement l'ascension de la séve par attraction;

4° Que l'ascension de la séve n'a lieu que lorsque les cellules ou les autres organes qui la contiennent et composent le tissu végétal, sont susceptibles de posséder leur état turgide naturel, ou de le reprendre lorsqu'ils l'ont perdu. Or, cette faculté de prendre ou de conserver cet état, n'est autre que le pouvoir de produire l'endosmose, qui dès lors devient la cause de l'ascension de la séve par attraction. M. Dutrochet pense que la fixation de l'oxygène respiré dans le tissu végétal, intervient d'une manière puissante pour occasionner l'état turgide des cellules, et produire l'ascension de la séve par attraction.

Cela posé, examinons comment on peut expliquer, au moyen de l'endosmose qui produit la turgescence des cellules, l'ascension de la séve lymphatique par ingestion : les cellules des feuilles qui ne renferment pas d'air sont remplies d'un liquide organique dense, et quand elles sont en contact avec les organes qui contiennent la séve lymphatique, elles deviennent turgescentes par un effet d'endosmose; de là introduction de l'eau, son évaporation dans l'air; production d'endosmose d'une manière continue. L'eau pénétrant sans interruption dans les cellules, la séve doit monter sans interruption, comme l'eau dans les endosmomètres ordinaires.

Ainsi, en admettant que dans les spongioles des racines, il existe une force impulsive qui chasse la séve lymphatique vers le sommet du végétal, tandis que dans les feuilles et les autres organes de la tige, il y a une force attractive qui attire la séve, on rend compte des phénomènes de son ascension. Il est facile d'expliquer plusieurs effets observés par M. Dutrochet dans diverses expériences sur des mercuriales qui avaient perdu par l'évaporation une quantité plus ou moins considérable de leurs liquides intérieurs. Lorsque les feuilles de la mercuriale ont perdu, par l'évaporation, une plus ou moins grande quantité de leurs parties aqueuses, la densité des liquides cellulaires se trouve augmentée; l'endosmose devient plus forte, et l'ascension augmente d'autant. Lorsque, par l'effet de la dessiccation, les feuilles ont perdu une quantité assez considérable de leurs parties aqueuses, les liquides organiques contenus dans les cellules n'ayant plus leur liquidité première, ne sont plus aptes ensuite à déterminer l'endosmose; par suite, la séve lymphatique n'existe plus dans les organes qui la contiennent ordinairement. On voit par là pourquoi l'ascension cesse d'avoir lieu; et pourquoi, lorsque le tissu des feuilles a été complétement desséché, il n'est plus apte à reprendre son état turgide vital par l'immersion dans l'eau; alors le tissu de la feuille s'imbibe d'eau et devient flasque. La théorie de l'endosmose

rend si bien compte des phénomènes d'ascension de la sève dans les végétaux qu'elle semble avoir été créée à cette fin.

De la manière dont agit la diastase pour déterminer la rupture des téguments de la fécule.

M. Dutrochet a employé l'eudosmose pour expliquer ce qui se passe dans la réaction de la diastase pour opérer la rupture des téguments de la fécule.

On sait que l'enveloppe tégumentaire des grains de fécule est rompue par l'action de divers agents qui mettent en liberté en même temps la substance qu'elle renferme. Parmi ces agents, on doit compter l'eau à la température de l'ébullition. Lorsque la quantité de liquide est peu considérable, alors la substance se prend en gelée par le refroidissement, parce que la substance intérieure de la fécule est très-soluble dans l'eau chaude et peu dans l'eau froide. Or, l'eau bouillante peut déterminer la rupture des téguments en les ramollissant; mais on ne peut s'empêcher de faire intervenir l'eudosmose, qui doit être très-énergique, en raison de la grande densité de la substance liquéfiée renfermée dans les grains de fécule; dès lors, il y a une distension en même temps qu'il passe dans l'eau de la matière intérieure. On conçoit ainsi comment l'endosmose, aidée de l'action de la chaleur, peut produire la rupture des téguments.

D'un autre côté, on sait qu'il se produit dans l'acte de la germination des céréales une substance particulière à laquelle MM. Persoz et Payen ont donné le nom de *diastase*. Cette substance opère avec une grande rapidité la dissolution de la fécule. Or, on a vu que la fécule était très-peu soluble dans l'eau froide; l'addition d'une petite quantité de diastase, 0,0005 par exemple, donne rapidement à cette substance une extrême solubilité dans l'eau froide, et tend en même temps à la convertir en sucre. M. Dutrochet attribue à cette augmentation de solubilité de la substance intérieure de la fécule, la rupture des téguments qui la renferment. Dans ce cas, la substance forme avec l'eau un liquide très-dense; il en résulte aussitôt une endosmose énergique qui fait crever très-rapidement les téguments des grains de fécule. Pour vérifier cette théorie, M. Dutrochet a soumis à l'expérience comparativement la force d'endosmose de l'eau froide aussi chargée de substances solubles de la fécule, qu'elle peut l'être par l'action préalable de l'ébullition, et la force de l'endosmose de l'eau froide chargée d'une certaine quantité de cette substance, modifiée ou rendue soluble par la diastase. Le premier de

ces liquides, dont la densité était 1,002, ne produisit point d'endosmose; le second, dont la densité était 1,006, produisit une endosmose qui, comparée à celle de l'eau sucrée de la même densité, était dans le rapport de 7 à 9.

On peut rapporter aux causes précédentes ce qui se passe dans les graines des végétaux pendant l'acte de la végétation. La diastase qui se forme rend soluble dans l'eau froide la substance intérieure des grains de fécule, et peu à peu la transforme en sucre, d'où résulte un gonflement de la graine par suite de l'endosmose.

Nous allons citer encore quelques faits généraux relatifs à la physiologie animale, qui peuvent être rapportés à l'endosmose.

M. Dutrochet a conservé vivant, dans un vase rempli d'eau, un très-petit poisson auquel il avait coupé la queue; il vit quelque temps après, sur la surface de la plaie, la production d'une moisissure aquatique, à filaments assez longs, terminés chacun par un petit renflement perceptible à l'œil nu. Quelques-uns des filaments furent placés dans un verre de montre, avec un peu d'eau, afin de pouvoir les observer au microscope. Ils ne tardèrent pas à expulser, par une ouverture située à leur pointe, une multitude de globules. La cavité de la capsule se vidait seulement à sa partie inférieure, opposée à la pointe qui donnait issue aux globules. La masse de ces derniers, qui remplissait encore la partie supérieure de la cavité capsulaire, semblait pressée et fortement chassée en haut par l'accumulation de l'eau dans la partie inférieure de cette cavité capsulaire qui ne diminuait aucunement de capacité.

L'accouplement des limaces offre un effet remarquable d'endosmose. La verge de ces mollusques est, avant l'accouplement, revêtue d'une gaîne imperforée qui ne lui est pas adhérente. L'accouplement étant effectué, le sperme, qui est pâteux, s'accumule dans cette gaîne; et quand celle-ci est remplie, elle se détache, et l'accouplement cesse d'avoir lieu. En troublant les limaces dans leur accouplement, elles se contractent avec force, et chassent chacune en dehors leur petit sac rempli de sperme; un de ces petits sacs, placé dans l'eau, se vide en peu de temps de la plus grande partie du sperme, qui se trouve remplacé par l'eau. Ces petits sacs ont environ 15 millimètres de long, 3 millimètres de diamètre à leur extrémité renflée, et un peu plus d'un millimètre à l'autre extrémité. Il y a là un phénomène d'endosmose. On voit donc que l'introduction de l'eau devient un agent pour expulser au dehors les substances que la gaîne renfermait.

M. Séguin a fait une heureuse application des phénomènes d'endosmose à la conservation des cadavres, et qui mériterait d'être suivie. Il coupa le bras d'un enfant mort, en ayant soin de laisser des lambeaux de chair pour recouvrir par une ligature la partie mise à nu. Il plongea ce membre dans de l'eau renfermant du sucre, du sel et de la gélatine en quantité suffisante pour donner à la dissolution une densité supérieure à celle du bras qui surnageait. Peu à peu, l'eau contenue dans les chairs passa dans la dissolution par suite d'un effet d'endosmose; tandis que les substances tenues en dissolution pénétrèrent dans le bras, lequel ayant été retiré, il y eut un commencement de putréfaction qui cessa bientôt après. Les substances introduites avaient donc contribué à la conservation du membre dont les parties contiguës aux os étaient devenues humides. M. Séguin a eu l'idée d'enlever l'eau qui s'accumule dans le tissu cellulaire dans les hydropisies, en employant des effets d'endosmose. Cette méthode nous paraît rationnelle, et pourrait être également employée avec avantage pour introduire dans diverses parties du corps des éléments propres à réagir dans divers cas pathologiques sur l'économie animale. On voit donc combien l'étude des forces physiques est importante pour l'interprétation d'un grand nombre de phénomènes physiologiques dont les causes furent ignorées tant que l'on n'a voulu faire intervenir que les forces vitales.

LIVRE V.

DE L'ÉLECTRO-CHIMIE.

CHAPITRE PREMIER.

Description et emploi des appareils.

Des appareils.

Après avoir exposé les propriétés générales des forces qui concourent à la composition et à la constitution moléculaire des corps, nous devons nous occuper de l'action de ces mêmes forces sur les molécules de ces corps, prises isolément ou dans leur ensemble, soit pour modifier leur arrangement, soit pour former de nouveaux composés, soit pour modifier leurs propriétés. Nous suivrons à cet égard l'ordre que nous avons adopté dans l'étude de chacune de ces forces; ainsi nous commencerons par l'action de l'électricité.

Toutes les fois qu'une décharge électrique suffisamment énergique, provenant d'une source quelconque, traverse une substance qui lui livre un passage plus ou moins facile, elle y produit un déplacement, une expansion des parties matérielles qui se trouvent sur sa route, d'où résulte une dilatation, un déchirement, une élévation de température qui peut aller, suivant la nature de la substance, jusqu'à l'incandescence, la fusion, la volatilisation, la combustion, ou même la décomposition. Il se produit donc des effets mécaniques ou des effets chimiques. Indépendamment de ces effets, il s'en produit d'autres dont nous n'avons pas à nous occuper ici; nous voulons parler des phénomènes électro-magnétiques et d'induction dont il a déjà été fait mention dans l'introduction.

L'expansion produite dans les fluides est quelquefois si considé-

rable, que les vases de verre qui les renferment sont brisés. Pour toutes les expériences faites à ce sujet par Beccaria et Kinnersley, nous renvoyons au *Traité d'électricité*, t. III, p. 149.

Les effets calorifiques produits dans les corps par le passage de l'électricité sont ceux qui frappent d'abord; mais comme ils ont déjà été décrits dans le tome Ier de cet ouvrage, p. 499, nous n'y reviendrons pas. Nous parlerons seulement des résultats généraux que M. Edm. Becquerel vient de communiquer à l'Académie des sciences dans un mémoire où il s'est proposé de déterminer les lois du dégagement de la chaleur par le passage de l'électricité à travers les corps solides et liquides. Cette question se rattache au dégagement de la chaleur dans les actions chimiques, et sa solution peut mettre sur la voie des causes qui concourent à sa production. Le procédé pour mesurer la quantité de chaleur produite par le passage de l'électricité dans les corps solides, est semblable à celui employé par Delaroche et Bérard, pour mesurer la chaleur spécifique des gaz; mais au lieu d'un courant constant de gaz, il a fait usage d'un courant constant d'électricité circulant dans un fil métallique enroulé dans une spirale de verre et plongeant dans un calorimètre d'eau. Voici ces résultats :

1° La quantité de chaleur dégagée par le passage d'un courant électrique dans un fil métallique est en raison directe du carré de la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, c'est-à-dire du carré de la vitesse du courant;

2° Cette quantité de chaleur est en raison directe de la résistance du fil au passage de l'électricité;

3° Quelle que soit la longueur d'un fil métallique, pourvu que son diamètre reste constant, s'il passe la même quantité d'électricité, l'élévation de température de chaque point du fil sera toujours la même;

4° L'élévation de température des différents points d'un fil métallique est en raison inverse de la quatrième puissance du diamètre.

Relativement à la chaleur dégagée lors du passage de l'électricité dans les liquides, il est arrivé aux lois suivantes :

Lorsque l'électrode positive est de même métal que celui dont l'oxyde forme la base du sel dissous, et qu'il ne se dégage aucun gaz, la quantité de chaleur dégagée suit la même loi que pour les métaux.

Ce résultat démontre que s'il y a dégagement de chaleur au pôle positif, par suite des réactions chimiques qui ont lieu à ce pôle, ce dégagement compense exactement l'absorption de chaleur nécessaire pour opérer la décomposition d'une même quantité de sel au pôle négatif.

En soumettant à l'expérience de l'eau rendue conductrice par l'addition d'un acide ou d'un alcali, et si les électrodes sont en platine, en ajoutant à la quantité de chaleur observée, celle qui serait produite par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène dégagés, on obtient des nombres proportionnels à la résistance à la conductibilité, et en raison directe du carré de l'intensité électrique.

En opérant avec différents liquides et des électrodes de diverse nature, M. Edm. Becquerel a constamment trouvé que si au dégagement de chaleur observé, on ajoute la chaleur qui serait produite par la recomposition des éléments séparés, et qu'on retranche celle provenant des combinaisons ayant lieu aux électrodes, on obtient des nombres proportionnels à la résistance à la conductibilité, au passage dans le liquide, et en raison directe du carré de l'intensité du courant. Il résulte de là que les lois du dégagement de la chaleur produite par le passage de l'électricité dans les liquides sont les mêmes que dans les métaux, si l'on tient compte de la chaleur dégagée dans les actions chimiques, et sont représentées par la formule

$$C = Mq^2 - Nq,$$

dans laquelle q représente la quantité d'électricité qui traverse le liquide dans l'unité de temps; M un nombre proportionnel à la résistance à la conductibilité, et N la différence entre la chaleur absorbée par les éléments décomposés, et celle qui provient des molécules qui se combinent.

Or, comme les quantités de chaleur dégagée dans les réactions qui ont lieu aux électrodes entrent dans cette formule, on conçoit qu'en opérant sur une grande masse de matière, on puisse déterminer avec exactitude ces quantités de chaleur.

Nous ne ferons pas mention des phénomènes de combustion qui ont lieu quand on fait éclater l'étincelle électrique au contact de l'air à la surface de l'éther, de l'alcool, de la résine, etc., attendu qu'ils sont décrits dans tous les traités de physiques; notre but étant, avant tout, d'étudier l'action chimique de l'électricité produite, soit par les machines électriques, soit par les appareils voltaïques simples ou composés, dont les applications aux sciences physico-chimiques deviennent chaque jour de plus en plus importantes. L'ensemble de tous les faits observés relatifs à cette action et à ses applications, ainsi que les rapports qui les lient, constituent l'électro-chimie dont nous allons exposer les principes généraux, avec des développements suffisamment étendus pour que le lecteur puisse les embrasser dans leur ensemble.

L'électro-chimie diffère de la chimie en ce que celle-ci ne fait usage que des affinités et de la chaleur, tandis que la première, outre ces forces, emploie l'électricité. Elle doit donc être considérée comme une annexe de la chimie, comme une des branches les plus importantes des sciences physico-chimiques, puisqu'elle fournit, comme on le verra, une foule de documents pour l'étude des phénomènes naturels.

Nous partirons de ce principe bien établi aujourd'hui, qu'il y a dégagement d'électricité toutes les fois que deux corps réagissent chimiquement l'un sur l'autre, ou bien que l'équilibre naturel des molécules est troublé par une cause quelconque; mais c'est particulièrement l'électricité dégagée dans les actions chimiques dont la quantité est excessive, que l'électro-chimie met à profit dans ses opérations. Depuis Volta, cette électricité, dont on ne connaissait pas bien l'origine, ne servait qu'à faire fonctionner l'admirable instrument dû à son génie, et avec lequel Davy, MM. Berzélius, Gay-Lussac et Thénard, etc., ont obtenu une foule de décompositions et d'effets étonnants d'incandescence. Aujourd'hui on emploie tout simplement l'électricité qui se dégage dans la simple réaction d'un corps sur un autre, pour opérer non-seulement des décompositions non moins remarquables que celles obtenues jadis avec les grands appareils, mais encore des combinaisons qui n'auraient pu se former en employant des forces trop énergiques. On utilise ainsi une force que les chimistes laissaient perdre, parce qu'ils ne savaient pas la mettre en action et n'en connaissaient pas bien toutes les propriétés. Désirant envisager la question sous le point de vue le plus général, nous nous servirons de l'électricité produite, soit seulement dans la réaction de deux corps l'un sur l'autre, soit dans une pile formée de deux ou plusieurs couples à courant constant, soit encore, mais très-rarement, par les machines électriques ordinaires.

Les appareils producteurs simples ayant été décrits t. Ier, p. 446, et les machines électriques étant connues de tout le monde, nous n'en dirons rien ; nous parlerons seulement des perfectionnements apportés aux appareils simples, et des appareils composés dont l'usage est le plus facile, le moins dispendieux, et qui peuvent fonctionner longtemps : cette dernière condition est indispensable quand il s'agit de faire cristalliser des composés insolubles qui se forment lentement. Les appareils à courant constant, maintenant en usage, ont tous été formés d'après les même principes que ceux dont nous avons donné la composition t. Ier, p. 446. Le premier couple est composé d'une so-

lution de potasse et d'acide nitrique concentré, séparé de la première au moyen d'un diaphragme en argile ou en terre demi-cuite et de deux lames de platine plongeant, l'une dans l'acide, l'autre dans l'alcali; en faisant communiquer les deux lames ensemble, on a ce qu'on appelle l'appareil à gaz oxygène: la lame qui plonge dans la potasse est le pôle positif. Dans cet appareil, l'acide nitrique et l'eau sont décomposés abondamment; mais si l'on veut s'en servir pour décomposer l'eau ou une autre solution placée dans un voltaïmètre faisant partie du circuit, il faut remplacer la lame de platine qui se trouve dans la potasse par une lame de zinc; dans ce cas, le zinc étant attaqué par la solution prend l'électricité négative, d'où résulte un courant cheminant dans le même sens que celui résultant de la réaction de la potasse sur l'acide. Ces deux courants s'ajoutant, ont assez de force pour décomposer l'eau ou la solution qui se trouve dans le second vase. La fig. 1, pl. X, indique la disposition de cet appareil, qui montre comment on peut décomposer l'eau abondamment avec un seul couple.

Le second couple qui sert de type, est celui que nous avons décrit il y a près de quinze ans, et qui se compose : 1° de deux liquides séparés par un diaphragme en toile; l'un est une solution de sulfate de cuivre saturée, l'autre une solution de chlorure de sodium; 2° d'une lame de cuivre plongeant dans la solution de cuivre, et d'une lame de zinc amalgamé plongeant dans l'autre. Passons maintenant aux différents perfectionnements apportés aux couples à courant constant. M. Grove, pour éviter, dans l'appareil à gaz oxygène, la formation du nitrate de potasse, qui, en cristallisant, fait éclater quelquefois le diaphragme, a remplacé la solution de potasse par de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et la lame de platine par une lame de zinc. M. Bunzen a eu l'idée de substituer à la lame de platine qui se trouve dans l'acide nitrique, un cylindre de charbon préparé en calcinant dans un moule de tôle un mélange intime de coke et de houille grasse finement pulvérisés et fortement tassés. Les effets produits étant excessivement énergiques, nous allons décrire l'appareil complet, afin que le lecteur puisse en construire lui-même au besoin.

Chaque couple, pl. X, fig. 2, se compose des quatre pièces solides suivantes, de forme cylindrique, qui s'emboîtent librement les unes dans les autres : 1° un bocal en verre *v*, plein d'acide nitrique du commerce; 2° un cylindre creux de charbon *c*, percé de trous, ouvert aux deux extrémités et plongeant, quand la pile fonctionne, dans l'acide nitrique jusqu'aux trois quarts de sa hauteur; sur le collet, hors du bocal, s'adapte à frottement un anneau en zinc bien décapé *z*, au bord

supérieur de cet anneau est soudée une patte métallique recourbée, destinée à établir la communication avec l'autre pôle; 3° un diaphragme en terre poreuse *p* qui s'introduit dans l'intérieur du cylindre de charbon, de manière à laisser un intervalle de 2 millimètres environ, et dans lequel on met de l'acide sulfurique étendu de 7 ou 8 fois d'eau; 4° un cylindre creux en zinc amalgamé *z*, plongeant dans l'acide sulfurique; le bord supérieur de ce cylindre est également surmonté d'une patte de zinc *p'* propre à établir la communication avec le pôle contraire. Ce couple fonctionne absolument comme le premier que nous avons décrit; il n'en diffère qu'en ce qu'on a substitué de l'acide sulfurique à la solution de potasse, et du charbon à une lame de platine, afin d'avoir une plus grande étendue de surface et une substance tout à fait inattaquable par l'acide nitrique ou du moins par le gaz nitreux. On a de même deux courants cheminant dans le même sens, l'un provenant de la réaction de l'acide nitrique sur l'acide sulfurique par l'intermédiaire du diaphragme en terre, l'autre de celle de l'acide sulfurique sur le zinc. Pour former un appareil composé ou une pile, on réunit le cylindre de zinc du premier couple avec le cylindre de charbon du second, et ainsi de suite. Cette communication s'effectue en appliquant l'une contre l'autre les lames ou pattes recourbées qui dépassent le bord supérieur de ces cylindres, et en les maintenant serrées au moyen d'une petite pince de cuivre munie d'une vis de pression. Les extrémités de la pile sont terminées d'un côté par la queue d'un anneau de zinc embrassant le collet du charbon, et de l'autre, par la queue d'un cylindre de zinc amalgamé. L'énergie de cet appareil est telle, qu'avec un seul couple on peut fondre un fil de fer mince; avec deux, on décompose l'eau, tandis qu'il n'en faut qu'un seul avec le couple platine et zinc fonctionnant avec la potasse et l'acide nitrique; enfin, avec quarante couples on répète la fameuse expérience de Davy sur l'incandescence du charbon dans le vide.

M. de la Rive a donné une disposition telle aux diverses parties qui composent un couple à courant constant, qu'il est parvenu à obtenir des effets également très-puissants. Il est parti de ce principe qu'un couple à force constante, cuivre et zinc amalgamé, chargé avec du sulfate de cuivre et de l'eau salée, les deux liquides séparés par un diaphragme en bois, ne décompose pas sensiblement l'eau placée dans un voltaïmètre faisant partie du circuit, quand elle ne renferme pas toutefois, comme l'a trouvé M. Edmond Becquerel, des substances sur lesquelles les deux éléments ou l'un des éléments de l'eau puisse réagir. Mais comme les deux lames de platine plongeant dans l'eau

du voltaïmètre se polarisent de manière à produire un courant en sens inverse, ce qui annonce un dépôt invisible de gaz sur ces lames, et par suite qu'il y a eu un commencement de décomposition, M. de la Rive a pensé que la présence de ces gaz sur les lames était la cause qui s'opposait à la décomposition ultérieure de l'eau une fois qu'elle était commencée. En plaçant effectivement l'appareil sous une cloche dans laquelle il faisait le vide, il aperçut aussitôt quelques petites bulles de gaz se dégager; mais l'effet s'arrêta bientôt. Il lui fut démontré par là que, quelque parfait que fût le vide, il était impossible d'enlever tous les gaz, surtout de la lame où se dégageait l'hydrogène, car sur l'autre lame il y avait probablement formation d'oxyde.

D'autres expériences ayant prouvé également à M. de la Rive que le véritable obstacle à la transmission du courant d'un couple à un autre, à travers un liquide conducteur, était la formation de couches gazeuses qui, restant adhérentes aux surfaces décomposantes, arrêtaient le courant; ce physicien a paré à cet inconvénient de la manière suivante.

Il introduit dans le circuit un commutateur à l'aide duquel le courant est dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans un autre; ce courant est fourni par un couple composé d'une lame de platine et d'une plaque de cadmium d'une surface de 6 centimètres carrés, celle de platine étant double. Ces deux lames plongent dans un flacon contenant 90 centimètres cubes d'eau acidulée. En introduisant un voltaïmètre dans le circuit, le courant ne passe point tant qu'il est continu; mais en faisant agir le commutateur, il est transmis aussitôt, et il y a décomposition instantanée de l'eau. Au lieu d'un commutateur, M. de la Rive emploie aussi un électro-aimant avec lequel on a des courants dirigés alternativement en sens contraire à travers le liquide du voltaïmètre. L'appareil, sur lequel nous reviendrons dans un instant, est tellement disposé, qu'il est traversé alternativement par le courant du couple et par l'un des courants d'induction produits dans le fil de métal qui entoure le fer doux et le courant du couple lui-même. Dans les premiers moments de l'expérience, le courant d'induction l'emporte sur le courant du couple; aussi se dégage-t-il des gaz sur les électrodes de platine; mais quelque temps après, les électrodes se noircissent et il ne se dégage plus de gaz, ce qui annonce que le courant du couple traverse aussi facilement le liquide que le courant d'induction. On voit par là que le courant d'induction favorise cette transmission, en apportant constamment de l'oxygène

sur la lame où il se dégage de l'hydrogène, et de l'hydrogène sur celle où il arrive de l'oxygène. Les lames se trouvent dépolarisées par ce moyen.

M. de la Rive a remarqué qu'il n'est pas indifférent de donner telle ou telle dimension aux électrodes; car si la surface est petite, le courant d'induction l'emporte; si elle est grande, c'est le courant du couple. Il y a donc une limite où les deux courants sont égaux. On atteint cette limite avec deux petites lames, au moyen de la poudre noire dont elles se recouvrent, et qui tend à augmenter de la quantité justement suffisante leur surface de contact avec le liquide. Lorsque les lames de platine, par l'effet des courants alternatifs, sont recouvertes d'une surface pulvérulente de platine très-divisé, elles deviennent aptes, comme l'éponge de platine, à opérer la décomposition du liquide au moyen d'un seul couple seulement. On voit maintenant pour quel motif quelques personnes recouvrent de platine en poudre les éléments négatifs des couples voltaïques à courant constant.

M. de la Rive a fait une autre innovation qui n'est pas moins importante que la précédente. Cette innovation consiste à substituer du peroxyde de plomb à l'acide nitrique, afin de diminuer la résistance et obtenir un courant par la réduction du peroxyde, courant qui, étant dirigé dans le même sens que celui dû à l'oxydation du zinc, augmente considérablement la puissance électro-chimique du couple. La fig. 3, pl. X, montre la disposition de l'appareil. Le peroxyde de plomb en poudre fine et sèche est tassé avec soin dans une auge en porcelaine dégourdie D, et l'on place au milieu une lame de platine P qui porte à son extrémité supérieure un appendice A, auquel est fixé un conducteur en cuivre C. Cette auge plonge dans de l'eau salée ou de l'acide sulfurique étendu, où se trouvent également deux lames de zinc amalgamé zz'. En fermant le circuit et y plaçant un voltaïmètre, l'eau est décomposée. M. de la Rive, dans une expérience, a obtenu jusqu'à 10 centimètres cubes de gaz par minute. On conçoit très-bien ce qui se passe dans cette circonstance. L'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, transporté sur la lame de platine en contact avec le peroxyde de plomb, réduit ce dernier, d'où résulte un second courant dirigé dans le même sens que celui dû à l'oxydation du zinc. Dès l'instant que l'on aperçoit que l'intensité de l'action décomposante diminue par suite de la polarisation des électrodes de platine qui produit un courant en sens inverse, on détruit cette polarisation en changeant la direction du courant dans le voltaïmètre.

Cet appareil, d'après des expériences comparatives, paraît avoir

une grande supériorité, surtout en ce qui concerne les effets chimiques, sur les appareils simples précédemment décrits. En dépolarisant de temps à autre les lames de platine, il peut fonctionner très-longtemps. Un des avantages qu'il présente est de ne fonctionner qu'avec un seul liquide; mais si l'appareil simple à peroxyde de plomb présente une grande supériorité sur les autres sous le rapport chimique, cette supériorité ne se soutient pas quand on en réunit plusieurs pour former une pile. En effet, un seul couple a donné 14° à un galvanomètre calorifique formé d'un fil de platine de 12 centimètres et d'un demi-millimètre de diamètre que traversait le courant. Deux couples réunis ont donné 18° au même galvanomètre, et 24 centimètres cubes de gaz par minute. Deux couples de Grove ont donné dans les mêmes circonstances 19° au galvanomètre calorifique, et 27 centimètres cubes de gaz par minute; mais ce qu'il y a de très-particulier, c'est qu'une pile formée d'un couple de Grove à acide nitrique, et d'un couple de peroxyde de plomb, a donné des effets supérieurs à ceux obtenus avec une pile de deux couples de Grove ou de deux couples de peroxyde de plomb. On a eu effectivement 24° au galvanomètre calorifique, au lieu de 18°, et 32 centimètres cubes de gaz, au lieu de 24 ou de 27. Il en est encore de même en faisant fonctionner simultanément le couple de M. de la Rive au couple de Daniell.

Une pile de trois couples de peroxyde de plomb fournit 72 centimètres cubes de gaz par minute, rougit le fil de platine, et donne une belle lumière avec les pointes de charbon.

Nous allons décrire maintenant, en nous appuyant sur les principes cités plus haut, l'appareil que M. de la Rive appelle condensateur voltaïque, destiné à augmenter l'intensité d'un courant en faisant servir ce courant même à cet effet. Cet appareil est décrit pl. X, fig. 4. Le courant *a b c d e* d'un couple à force constante, qui doit traverser une solution placée dans un voltaïmètre, produit un courant d'induction qu'on dirige à travers le couple actif C lui-même, dans un sens tel que son effet soit de nature à oxyder le zinc et à désoxyder le sulfate de cuivre ou l'acide nitrique. Voici les diverses parties de l'appareil : F F cylindre de fer doux placé dans l'intérieur d'un cylindre en bois, autour duquel est enroulé un gros fil de métal entouré de soie; ce fil étant traversé par le courant, aimante le morceau de fer. Aussitôt après, une petite tige de cuivre mobile *t t'*, munie d'un appendice de fer *a* attiré par l'aimant soulevé de manière à interrompre le circuit; il se produit alors dans le fil un courant d'induction qui traverse le couple, et qui, réuni avec celui du couple qu'il a ainsi ren-

forcé, traverse le voltaïmètre qui n'a pas cessé de faire partie du circuit, et décompose l'eau. Dès l'instant que le fer doux n'est plus aimanté, la tige de cuivre retombe; le circuit métallique est de nouveau fermé, les fers s'aimantent, et le même effet se reproduit. Au moyen de cette annexe, un couple de Grove, qui ne décompose l'eau que très-légèrement, ou un couple de Daniell, qui ne la décompose pas, devient capable d'opérer la décomposition avec énergie, en donnant 10 ou 15 centimètres cubes de gaz par minute.

Pour que cet appareil fonctionne bien, il est nécessaire que le fil de métal recouvert de soie qui entoure le cylindre de fer doux soit d'un gros diamètre et d'une longueur médiocre. Dans celui de M. de la Rive, il y avait trois fils de cuivre de 1 millimètre de diamètre, faisant chacun 100 tours, et réunis par leurs extrémités correspondantes, de manière à représenter un seul fil de 3 millimètres de diamètre, faisant 100 tours.

Il ne nous reste plus, pour compléter l'exposé des appareils voltaïques à force constante, qui sont généralement employés aujourd'hui, qu'à décrire la pile qni a pour élément le couple composé d'une auge en cuivre (pl. X, fig. 5).

Cette pile est formée de douze couples tellement indépendants les uns des autres, qu'on peut employer à volonté un ou plusieurs couples. Chaque couple est formé : 1° d'une auge *aa* en feuillets de cuivre ayant 50 centimètres de longueur, 35 de largeur ; 2° d'un sac en toile à voile destiné à recevoir la plaque de zinc de 45 à 48 centimètres de longueur, de 32 à 34 centimètres de largeur, et de $\frac{1}{2}$ à 1 centimètre d'épaisseur. L'auge est pourvue de chaque côté en *a*, à peu près dans toute sa longueur, de deux appendices creux, et communiquant par des trous avec l'intérieur; on remplit ces appendices de morceaux de sulfate de cuivre qui maintiennent à saturation la dissolution de ce sel que renferme l'auge. De chaque plaque part une tige *t*, recourbée et venant tomber dans un godet de fer *g*, entrant à frottement dans une ouverture pratiquée dans la traverse *t*. Quand on veut opérer, on place chaque plaque de zinc dans le sac, que l'on remplit d'une dissolution saturée ou à peu près de sel marin, et on descend le tout dans l'auge, où se trouve une dissolution saturée de sulfate de cuivre, en ayant soin que la tige *t* plonge dans le godet de mercure. Chaque auge est munie d'une tige *t'* recourbée, qui vient plonger dans le godet où se rend celle de la plaque de zinc du couple voisin. Chaque plaque de zinc, pour en faciliter l'immersion, possède une poignée en fer ou en cuivre soudée à l'extrémité de la plaque. Si l'on amalgame

le zinc, on a des effets plus constants et plus durables, en raison de l'action régulière exercée par la solution sur le zinc. Quand la pile cesse de fonctionner, il faut avoir l'attention de retirer les dissolutions, de laver les plaques de zinc, les sacs de toile, et d'enlever le cuivre précipité dans les auges.

Cette pile est celle qui réunit au plus haut degré les conditions nécessaires pour obtenir les plus grands effets de chaleur, et même les plus grands effets chimiques qu'on puisse se proposer. Mais comme sa construction est dispendieuse, il est bon d'avoir une pile que l'on puisse construire sans avoir recours à des mains étrangères. L'appareil suivant peut remplacer la pile à auge en cuivre. Chaque couple se compose d'une feuille de cuivre enroulée en cylindre, échancrée en plusieurs parties; d'un cylindre de zinc amalgamé également échancré, d'un sac de toile à voile destiné à recevoir le cylindre et l'eau salée qui doit réagir sur le métal. Ces deux lames sont munies de brides en cuivre soudé, d'une certaine longueur, flexibles et pouvant être mises en relation avec divers conducteurs, ou les corps sur lesquels on veut opérer. Le couple plonge dans un seau de faïence, facile à se procurer partout, et auquel est mastiqué un godet rempli de mercure. Ce seau renferme la solution de sulfate de cuivre que l'on tient toujours au maximum de saturation, au moyen de morceaux de sulfate renfermés dans un sachet et plongeant dans la dissolution. La seule précaution est de placer le cylindre de cuivre le plus près possible du sac. En réunissant un certain nombre de couples, on forme une pile.

Des eudiomètres.

Il ne reste plus à décrire que les endiomètres qui servent à l'analyse des gaz au moyen de l'électricité ordinaire. Voici le principe d'après lequel on construit ces appareils. Soit un tube de verre fermé par un bout, rempli de mercure et renversé dans un vase contenant le même métal, et dans lequel on introduit deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène, de manière à occuper un espace de quelques centimètres; si l'on fait passer dans ce mélange une étincelle électrique entre deux fils de métal traversant le tube, et dont les bouts sont distants de deux ou trois millimètres, les gaz s'enflamment avec détonation; le mercure remonte à la partie supérieure du tube, qui se recouvre d'une couche très-légère d'eau provenant de la combustion de l'hydrogène. Pour que le tube ne soit pas brisé par l'effet de l'explosion, on donne à la paroi au moins 10 à 12 millimètres d'épaisseur.

La forme des eudiomètres et leur construction varient suivant le but que l'on se propose. Nous allons décrire ceux dont on fait usage ordinairement :

1° AB (pl. X, fig. 7), tube de verre très-épais, ouvert en B et fermé en haut par une virole *c* en cuivre jaune ou en fer, suivant que l'on veut opérer avec l'eau ou le mercure; la virole est surmontée d'une tige D, terminée par une boule de même métal que le bouchon; *ff*, fil de cuivre ou de fer tourné en spirale, aussi long que le tube, et terminé dans le haut par une boule *b*, et qui est placé dans le tube, dont la longueur est ordinairement de 1 à 2 décimètres, et le diamètre de 16 à 18 millimètres.

2° L'eudiomètre précédent modifié par M. Gay-Lussac (pl. X, fig. 8). La partie moyenne correspond extérieurement à une sorte de main en métal M, destinée à fixer l'instrument pendant l'opération, et terminée par une virole brisée que la vis *v* presse contre l'eudiomètre. A la partie inférieure se trouve une virole *g h*, destinée à donner de la solidité à l'appareil. On fixe à cette virole, au moyen d'une vis *q*, une plaque IK mobile autour de la vis. Cette plaque est percée à son centre d'une ouverture conique, fermée par une soupape qui, lors de son mouvement, est maintenue par la tige *m n*, et dont la petite goupille fixe l'étendue de l'ascension. Enfin, pour que la plaque I K ait plus de solidité, elle entre dans une petite échancrure *k*, pratiquée dans le prolongement *l* de la virole *g h*. Au moment de l'explosion, la soupape, pressée de haut en bas, reste évidemment fermée; mais aussitôt qu'il se fait un vide dans l'eudiomètre, l'eau soulève la soupape et vient le remplir. Au moyen de cette disposition, on évite la rentrée de l'air au moment de l'explosion.

3° *Eudiomètre de M. Mitscherlich.* Cet appareil se compose d'un tube de verre épais, long de 4 à 6 décimètres, d'un diamètre d'environ 8 à 9 millimètres, ouvert à l'un des bouts et fermé à l'autre. Sa capacité est divisée en parties égales, et les divisions sont gravées sur le verre. A peu de distance de l'extrémité supérieure, sont pratiquées deux ouvertures, dans lesquelles passent deux fils de platine, solidement lutés aux parois du tube, et à une distance suffisante pour que l'étincelle électrique puisse la franchir. Les deux bouts extérieurs sont recourbés en crochet. A peu de distance de l'extrémité, le tube est percé en travers d'un trou assez grand, fermé avec un fort bouchon de verre usé à l'émeri. Ce bouchon, pendant la détonation, sert à éviter toute perte de gaz, et à empêcher que lorsqu'on fait une expérience sur l'eau, l'air atmosphérique qu'elle renferme ne se mêle

avec le gaz. Immédiatement après on retire le bouchon, pour que le liquide puisse remplir le vide produit.

Indiquons l'usage de ces appareils. Prenons le plus simple, pl. X, fig. 7, pour l'analyse de l'air dans la cuve hydropneumatique : le tube AB ayant été rempli d'eau, exempte d'air autant que possible, on le renverse sur la tablette de la cuve, et on y introduit successivement 100 parties d'air atmosphérique et 100 parties de gaz hydrogène bien pur, au moyen d'un entonnoir. La boule et la tige D ayant été essuyées avec du papier joseph, on introduit le fil *ff'* dans l'intérieur du tube, de manière que la boule *b* se trouve à une petite distance du bouchon *c*. Tenant toujours plongée dans l'eau la partie inférieure du tube et fermant l'ouverture avec l'index, on approche de la boule D le crochet d'une bouteille de Leyde chargée; à l'instant où l'étincelle paraît, la détonation a lieu. On mesure ensuite le gaz résidu que l'on retranche des 200 parties de gaz introduites, et la différence divisée par 3 donne la quantité d'oxygène contenue dans l'air, puisque l'eau est formée de deux parties d'oxygène et d'une partie en volume d'hydrogène. L'exemple que nous venons de citer suffit pour indiquer l'usage des autres appareils qui servent, ainsi que le précédent, non-seulement à l'analyse de l'air, mais encore à déterminer la composition d'un grand nombre de gaz.

De l'emploi de l'action calorifique de l'électricité pour opérer des fusions.

Lorsqu'un fil de platine est tenu en incandescence par le passage continu d'un courant provenant d'une pile à courant constant, ce fil rayonne de toutes parts de la chaleur; mais s'il est reployé sur lui-même en hélice conique, une partie de ce rayonnement s'opère dans l'intérieur de cette dernière, qui acquiert alors une température excessive, capable de produire les plus grands effets de fusion. Le diamètre de la base de la spire peut varier depuis 2 jusqu'à 10 millimètres, et même au delà, suivant l'intensité du courant. Avec une pile composée de dix couples, de 1 décimètre carré de surface chacun, le diamètre du fil peut varier de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ millimètre.

L'hélice devenant le foyer de chaleur, on place dans son intérieur les creusets destinés à contenir les substances soumises à l'action de la chaleur. Ces creusets sont en charbon, en platine, en argent ou en porcelaine, suivant la nature des effets que l'on a en vue.

Des creusets en charbon. Pour les former, on prend un morceau

de charbon que l'on taille en cône avec un instrument tranchant, et dont on évide l'intérieur, afin d'y placer la substance d'essai. Dès l'instant que le courant circule, le charbon entre en combustion; d'où résulte un dégagement de chaleur tel que l'hélice, le charbon et la substance sont à la température rouge blanc. Si cette substance est un sulfate alcalin, quelques instants suffisent pour le transformer en sulfure, comme il est facile de le constater en plaçant le produit sur une pièce d'argent nouvellement décapée avec une goutte d'eau; celle-ci noircit immédiatement. Si le creuset renferme un flux alcalin, la cendre provenant de la combustion du charbon se fond avec le flux, et forme une enveloppe vitreuse, mince, qui enveloppe les spires du fil.

Veut-on encore augmenter la température, on place sous l'hélice une lampe à alcool, dont la flamme enveloppe entièrement le creuset. La chaleur devient souvent si intense, qu'elle fond quelquefois des fils de platine d'un assez gros diamètre; mais l'appareil est tellement disposé (pl. XI, fig. 1), qu'on peut éloigner ou rapprocher à volonté la flamme du creuset, et régler ainsi la température. Avec un peu d'habitude, on est averti, par la radiation lumineuse, si l'on est près ou non du point de fusion du fil. Pour augmenter la chaleur dans les premiers instants et faciliter la formation de l'enveloppe vitreuse, on trempe à diverses reprises le creuset dans une solution concentrée de nitrate de potasse.

Creusets de platine. Ces creusets doivent être formés d'une feuille très-mince de platine battu, et appliqués dans l'hélice de manière à ne la toucher qu'en quelques points seulement; car si la conductibilité métallique était bien établie entre les spires et le creuset, le courant passerait dans celui-ci, ce qui diminuerait l'incandescence; on évite en partie cet inconvénient en plaçant autour des spires un verre fusible.

Creusets d'argent. Ils doivent avoir plus d'épaisseur que les précédents, en raison de la fusibilité de l'argent.

Creusets en porcelaine. Ces creusets sont à parois très-minces, et doivent être faits sur le modèle des petites coupelles de M. Lebaillif, avec cette différence toutefois que celles-ci sont plates, et que les creusets ont la forme qui leur est propre. Voici la manière de les préparer : on prend du kaolin bien pulvérisé; on en fait une pâte avec de l'eau, et on en forme des cônes tronqués de plusieurs millimètres à la base et d'une hauteur convenable. Après les avoir fait dessécher lentement, on les évide à l'intérieur et on les soumet à une forte chaleur, dans un fourneau à réverbère, avant de s'en servir.

Outre l'hélice, on emploie aussi des spirales à spires plus ou moins serrées, sur lesquelles on pose les coupelles, capsules, etc., dans lesquelles on place les substances que l'on veut soumettre à l'action de la chaleur.

On peut substituer aux fils de platine des fils de fer, qui sont moins fusibles : ils se brûlent à la vérité ; mais, en les prenant d'un certain diamètre, ils peuvent servir encore assez longtemps.

Si l'on ne veut pas augmenter l'incandescence avec une lampe à alcool, on entoure l'hélice d'un cylindre de platine poli intérieurement, qui renvoie la chaleur sur le creuset. On préfère le platine, afin que les vapeurs sulfureuses ne l'attaquent pas.

Le mode d'expérimentation que nous décrivons a encore d'autres applications, dont la plus importante est celle qui suit : en chimie, lorsqu'on veut soumettre un corps à l'action d'un gaz à une certaine température, on place cette substance dans le renflement d'un tube de verre, dont les deux extrémités sont mises en communication, l'une avec le réservoir qui fournit le gaz, l'autre avec un bain de mercure. On place sous le renflement une lampe à alcool pour chauffer le gaz et le corps. Le gaz qui n'a pas réagi et les produits gazeux formés sont recueillis par le mercure. Quand on veut opérer à une température plus élevée, on met le corps dans un tube en matière réfractaire, que l'on place dans un fourneau à réverbère, en prenant les mêmes dispositions que précédemment ; mais on ne voit pas les changements produits successivement pendant la réaction du gaz. Il n'en est pas de même en se servant de l'action calorifique de l'électricité. En effet, si l'on place l'hélice et les creusets dans l'intérieur d'une cloche, comme on le voit (pl. XI, fig. 2), qu'on fasse le vide et qu'on y introduise différents gaz, il sera facile de suivre tous les changements qu'éprouvera la substance soit dans le vide, soit dans un gaz, dès l'instant que le courant traverse le circuit. Nous verrons les applications en leur lieu et place.

Des effets chimiques produits au moyen des actions mécaniques.

Avant d'entrer en matière, nous avons cru devoir appeler l'attention du lecteur sur cet ancien adage de chimie : *Corpora non agunt nisi sint soluta*, et d'après lequel deux corps ne peuvent réagir l'un sur l'autre qu'autant que l'un est tenu en dissolution par un liquide ou la chaleur. Cet axiome ne doit pas être pris dans le sens le plus général ; en effet, aussitôt que nous eûmes reconnu que l'équilibre des forces électriques était troublé dans les corps toutes les fois que leurs

molécules éprouvaient un changement dans leur position d'équilibre, nous en conclûmes qu'en raison des rapports qui lient les affinités aux forces électriques, ces mêmes molécules, par suite de l'état électrique qu'elles prenaient, devaient pouvoir, dans certaines circonstances, réagir les unes sur les autres, puisqu'elles se trouvaient momentanément à l'état naissant; ce qui revenait à dire que les causes qui dégageaient de l'électricité pouvaient aussi provoquer le jeu des affinités : parmi ces causes, nous considérerons la pression, le frottement, la percussion, enfin toutes les actions mécaniques.

On sait depuis longtemps que lorsqu'on met en présence deux corps dont les éléments sont pour ainsi dire dans un état d'équilibre instable, à l'instant où on les pulvérise, ces éléments se séparent pour former de nouveaux composés. On doit mettre en première ligne les fulminates et les poudres fulminantes, le mélange de chlorate de potasse et de soufre qui, en détonant, produit du nitrate de potasse, du chlorure de potassium, de l'acide sulfureux, etc. On est porté à croire que le choc, en rapprochant les éléments des corps en présence, provoque les affinités, et dégage en même temps assez de chaleur pour augmenter leur énergie et produire diverses réactions. Il se forme alors une certaine quantité de gaz, dont une partie, se dégageant instantanément, frappe les molécules de l'air, les fait entrer en vibration et produit la détonation. Le mélange de chlorate de potasse et de charbon détone moins facilement que le précédent; il faut enfermer la poudre dans un morceau de papier, et le frapper fortement sur une enclume avec un marteau; il se produit du chlorure de potassium et du gaz acide carbonique. Un mélange de peroxyde de plomb et de soufre s'enflamme également par la porphyrisation, d'où résultent de l'acide sulfureux et du sulfure de plomb. En substituant au charbon le phosphore dans un mélange de chlorate de potasse et de soufre, le mélange fulmine par le plus faible choc. L'expérience n'est pas sans danger.

Les effets que nous venons de mentionner sont les plus saillants; mais on les obtient encore, quoiqu'à un degré infiniment moindre, quand on porphyrise certaines substances. Si l'on brise, par exemple, dans un mortier d'agate des fragments de pyrite non décomposée, il se forme du protosulfate de fer facile à reconnaître au moyen du cyanoferrure potassique. En porphyrisant dans un mortier d'agate un cristal de mésotype (double silicate de soude et d'alumine), la poussière, légèrement humectée, rougit le papier de curcuma; réaction qui annonce que l'alcali est devenu libre. Il est facile de prouver que l'effet

produit est bien dû à l'alcali mis en liberté par l'effet de la trituration, et non à l'action des matières colorantes sur la mésotype; car il suffit de laver la poussière à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, pour lui enlever la propriété de réagir sur les couleurs végétales. Avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique versées dans l'eau, puis en faisant évaporer et cristalliser, on obtient de petits cristaux de chlorure de sodium. Le basalte, le feldspath, différentes substances qui renferment de la potasse et de la soude, ainsi que le verre, produisent les mêmes effets, mais à des degrés différents; quelquefois on est obligé de se servir de papier de tournesol rougi par un acide, pour reconnaître la présence de l'alcali.

Pour savoir jusqu'à quel point la chaleur dégagée dans la porphyrisation intervient dans la production des effets, il suffit d'élever jusqu'au rouge la température d'un fragment de mésotype, et de le placer, après le refroidissement, sur un papier à réactif avec une goutte d'eau; on reconnaît alors que la réaction alcaline ne se manifeste plus. Il est prouvé par là que la soude n'a été mise à nu dans l'expérience précédente que par l'effet de la porphyrisation.

On peut opérer également des doubles décompositions au moyen des actions mécaniques. Lorsqu'on broie dans un mortier d'agate du nitrate d'ammoniaque et du carbonate de chaux, il y a formation de carbonate d'ammoniaque qui se dégage et de nitrate de chaux. La volatilité du carbonate d'ammoniaque détermine la réaction. Le sulfate et le phosphate d'ammoniaque sont également décomposés quand ils sont broyés avec du carbonate de chaux. Il en est de même de tous les sels ammoniacaux en présence du carbonate de chaux et des carbonates terreux.

Le sous-carbonate de plomb, en présence du sulfate d'ammoniaque, donne naissance à une forte quantité de carbonate d'ammoniaque. Le sous-carbonate de plomb avec le sulfate de soude ramène au bleu le papier rougi. L'expérience suivante est encore très-significative : on broie dans un mortier d'agate du nitrate de plomb et de l'iodure de potassium, dans les proportions voulues pour se décomposer réciproquement. La réaction des deux composés l'un sur l'autre ne tarde pas à s'opérer; le mélange se colore peu à peu en jaune, prend une teinte assez foncée; preuve qu'il se forme une quantité considérable d'iodure de plomb.

Le simple frottement des molécules non suivi de désagrégation produit également des doubles décompositions. Pour le prouver, il suffit de passer rapidement un cristal de sulfate de potasse sur une

plaque de calcaire ou de carbonate de baryte; il y a aussitôt réaction des deux sels l'un sur l'autre, comme on peut s'en assurer avec le papier de curcuma.

On pourrait croire que, dans les doubles décompositions, les réactions ont lieu par l'intermédiaire de l'eau interposée; mais pour parer à cette objection, on opère avec du sulfate de soude fondu et du spath d'Islande; dans ce cas, on obtient du carbonate de soude et du sulfate de chaux.

Voici encore un exemple où il ne peut y avoir intervention d'eau de cristallisation ou d'eau interposée : dans la porphyrisation du sulfate d'argent avec du mercure, le premier est décomposé; il se forme de l'amalgame d'argent et du sulfure de mercure.

On conçoit que le nitrate de plomb et l'iodure de potassium se décomposent réciproquement, puisque leur composition atomique permet l'échange des bases.

Nitrate de plomb.	1 atome de protoxyde de plomb. 1 atome d'acide nitrique.
Iodure de potassium.	1 atome de potassium. 1 atome d'iode.

Produits formés.

Nitrate de potasse.	1 atome de potasse. 1 atome d'acide nitrique.
Iodure de plomb.	1 atome de plomb. 1 atome d'iode.

Le bichlorure de mercure et l'iodure de potassium donnent naissance à un biiodure de mercure couleur vermillon.

Le nitrate d'argent et le chromate neutre de potasse jaune donnent un chromate d'argent rouge briqueté.

Le sous-sulfate de peroxyde de fer et le sulfocyanure de potassium donnent du sulfocyanure de fer d'une couleur rouge sanguin. Enfin, l'arséniate de potasse et le nitrate d'argent produisent de l'arséniate d'argent.

La formation du bleu de Thénard au moyen de la porphyrisation est un fait assez important pour que nous en fassions mention ici, parce qu'elle démontrera l'énergie avec laquelle agissent les affinités dans les actions mécaniques. Ce bleu est obtenu, comme on le sait, en mêlant avec soin une partie de phosphate de cobalt pur avec 1 ½ ou

trois parties d'alumine pure, et chauffant le mélange dans un creuset couvert jusqu'au rouge blanc. La teinte bleue est d'autant plus belle que l'on chauffe plus fortement, et que l'on emploie de l'alumine exempte de fer.

Si l'on porphyrise dans un mortier d'agate, en exerçant une forte pression, du phosphate de cobalt, il prend peu à peu une teinte violacée, puis bleuâtre; et comme on ne peut admettre que le phosphate perde de l'acide phosphorique par le frottement, il faut donc que celui-ci fasse prendre aux molécules un arrangement particulier qui donne au composé une couleur bleue. Tout porte à croire que l'alumine, dans l'acte de la combinaison, produit un effet semblable. Pour connaître l'influence de cette substance, il suffit d'exercer la porphyrisation dans un mortier de porcelaine, et la belle couleur bleue paraît çà et là sur la paroi; et si l'on porphyrise pendant une demi-heure quelques décigrammes de phosphate neutre, on obtient une couleur bleue assez foncée. On peut se demander alors si la chaleur qui se dégage dans le frottement est capable de produire cet effet. Quoique cette chaleur soit considérable, nous ignorons si elle est aussi intense que celle qui est nécessaire pour former le bleu de Thénard. Tous les faits que nous venons de présenter tendent à prouver que l'ébranlement des particules dans la porphyrisation, en leur rendant momentanément leurs propriétés électriques qui constituent l'état naissant, est capable de provoquer l'action des affinités.

Nous ne quitterons pas ce sujet intéressant sans laisser entrevoir les applications qu'on pourra peut-être tirer un jour des effets que nous venons d'indiquer. On a vu que la porphyrisation du sulfate de soude et du carbonate de chaux donne naissance à du sulfate de chaux et du carbonate de soude ; or on sait que pour transformer le sel marin en carbonate de soude, pour les arts, on le change d'abord en sulfate, que l'on calcine dans des fourneaux à réverbère avec du carbonate de chaux. Or, rien ne prouve que l'on n'obtiendrait pas immédiatement cette transformation en pulvérisant entre deux meules un mélange convenable de ces deux sels.

CHAPITRE II.

Des décompositions électro-chimiques opérées au moyen des appareils simples et composés, et des machines électriques.

Toutes les fois que les deux électricités, émanant sans interruption d'une source commune, traversent, au moyen de deux lames de platine, un liquide tenant en solution un sel, le courant détermine, entre les particules de l'eau d'une part et du sel de l'autre, une polarité électrique telle, que l'hydrogène de chaque particule devient positif et l'oxygène négatif. Le pôle négatif, en agissant sur la particule contiguë, attire l'hydrogène qui devient libre et repousse l'oxygène vers la particule suivante, et ainsi de suite jusqu'à la dernière ; tandis que le contraire a lieu à l'autre pôle. Les particules du sel éprouvent les mêmes effets. En définitive, l'oxygène et les acides sont transportés sur la lame positive, l'hydrogène et les alcalis sur la lame négative. Tel est le principe général de toute décomposition électro-chimique.

Pour savoir de quelle manière les alternatives des liquides et de lames métalliques, dans une pile ordinaire, influent sur la vitesse du courant et par conséquent sur la décomposition électro-chimique, il faut étudier les modifications qu'éprouve l'électricité en traversant des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal sans action sur ces mêmes liquides.

Supposons que l'on mette dans un vase de verre une solution de chlorure d'ammoniaque, ou de chlorure de sodium, deux lames de platine en communication d'une part avec une pile à courant constant, et de l'autre avec un multiplicateur, et plongeant dans la solution, on a un certain courant dont l'intensité est mesurée au moyen de la déviation de l'aiguille aimantée. Mais si, sans rien changer aux appareils, on interpose dans le liquide des lames de métal qui devront être traversées par le courant, dont la source est constante, la présence de ces lames modifie l'intensité du courant.

M. de la Rive, en expérimentant avec une pile de 60 couples, afin d'avoir un courant suffisamment intense pour suivre sans difficulté les diminutions d'intensité, a obtenu les résultats suivants :

1° L'intensité du courant est diminuée par la présence d'une ou de deux lames de platine placées perpendiculairement à la direction du courant;

2° Cette diminution est très-faible quand la pile est composée d'un grand nombre d'éléments; mais l'intensité du courant diminue dans une proportion d'autant plus rapide, en traversant le même nombre d'éléments, que son intensité originaire est plus forte;

3° Avec deux courants ayant la même intensité, l'un à l'origine, l'autre après avoir traversé plusieurs alternatives, le premier diminue beaucoup plus par l'interposition d'une lame que le second, qui a déjà traversé plusieurs alternatives; de sorte que ce dernier se trouve plus apte à vaincre l'inertie des mauvais conducteurs.

Voyons ce qui arrive quand on opère en même temps avec différents métaux, tels que l'or, l'argent, le fer, le mercure, le cuivre, etc., et les acides nitrique, sulfurique, hydrochlorique, les solutions alcalines, etc.

On trouve que l'acide nitrique est celui de tous les acides qui diminue le moins l'intensité du courant. Viennent ensuite l'acide hydrochlorique, puis l'acide sulfurique. La raison en est simple : un courant voltaïque passe d'autant plus facilement dans un liquide, qu'il peut mieux opérer la séparation de ses éléments, ou celle des éléments des corps qui s'y trouvent en dissolution. Or, comme l'acide nitrique est celui qui se décompose avec le plus de facilité, puisque ses éléments se séparent sous l'influence solaire, il doit être celui qui laisse le plus facilement passer l'électricité en mouvement.

Après les acides, viennent les solutions salines, puis la potasse et l'ammoniaque ; cela se conçoit, les solutions salines cédant aisément leurs éléments aux courants électriques. Il n'en est pas de même des alcalis. Dans ceux-ci, ce sont les éléments de l'eau qui sont séparés.

Il paraît, en général, que les courants électriques ne circulent dans les liquides que par l'intermédiaire des éléments qu'ils transportent. Néanmoins il faut avoir égard encore au pouvoir conducteur de ces liquides. D'après les expériences de M. Pouillet, l'intensité du courant est en raison directe de la section, et en raison inverse de la colonne liquide, pourvu toutefois que sa longueur égale au moins cinq ou six fois son diamètre.

On peut, en résumé, dire que la diminution d'intensité qu'éprouve l'électricité en passant du platine dans un liquide, dépend non-seulement de la nature du liquide de son pouvoir conducteur,

des affinités qui unissent des éléments, mais encore de la force du courant, et de la perte qu'il éprouve en changeant de conducteur.

On ne doit jamais perdre de vue ce principe, précédemment énoncé, qu'un courant passe d'autant plus facilement d'un liquide dans un métal, que celui-ci est plus fortement attaqué par le liquide.

Tels sont les principes généraux que l'on doit invoquer quand on veut opérer des décompositions au moyen des appareils voltaïques simples ou composés.

Il est facile maintenant de comprendre la différence qui existe entre les effets d'une pile formée d'un petit nombre d'éléments, et ceux d'une pile en ayant un grand nombre. De la différence qui existe dans les effets produits par un courant qui n'a encore passé que dans peu d'alternatives, et par un courant qui en ait déjà traversé un certain nombre, il en résulte que la première pile, celle composée d'un petit nombre d'éléments, produit plus facilement les effets qui se manifestent quand le circuit est fermé par un très-bon conducteur; tandis que la seconde pile est employée avec avantage quand il s'agit de produire des effets dans un conducteur imparfait, tel qu'un conducteur humide. Ainsi, la première pile doit être employée de préférence quand le circuit que le courant doit traverser est métallique, tandis que la seconde est plus apte à opérer des effets dans un circuit où se trouve un liquide; c'est pour ce motif que les piles composées d'un grand nombre d'éléments sont employées avec plus de succès pour opérer des décompositions chimiques. Toutefois, on peut obtenir les mêmes effets avec un seul couple convenablement disposé; mais alors il faut que les substances sur lesquelles on agit fassent elles-mêmes partie du couple métallique.

Passons aux rapports existant entre l'intensité du courant et l'étendue des surfaces immergées. Sans entrer dans le détail des expériences, nous dirons qu'elles ont conduit aux conséquences suivantes :

1° L'augmentation de surface facilite la transmission du courant;

2° L'augmentation d'intensité qui résulte de la plus grande étendue de surface croît dans un rapport plus grand que la surface elle-même quand le courant est faible;

3° Cette augmentation croît dans un rapport moindre quand le courant est intense;

4° Par l'augmentation de la surface métallique, en contact avec le liquide, on gagne proportionnellement davantage quand l'élec-

tricité en mouvement est pen intense que quand elle est très-forte.

Quant au rapport qui doit exister entre l'étendue de surface de zinc et celle de cuivre, pour obtenir le maximum d'effets, Wollaston a reconnu que l'on augmente beaucoup l'intensité du courant en donnant au cuivre une surface plus grande qu'au zinc, et a prouvé ce fait en construisant une pile dans laquelle la surface de cuivre était double de celle du zinc.

De quelques conditions générales des décompositions électro-chimiques.

Il y a un rapport tel entre l'énergie avec laquelle deux éléments sont combinés, et l'intensité du courant nécessaire pour séparer ces deux éléments après leur combinaison, que les corps dont les éléments sont réunis en vertu de fortes affinités éprouvent avec plus de force l'action décomposante du courant que les corps qui obéissent à de très-faibles affinités, comme les dissolutions; ainsi l'action du courant se fait seutir bien plus fortement sur l'acide sulfurique et la potasse dans le sulfate de potasse tenu en dissolution, que sur la potasse et l'eau dans une solution d'hydrate de potasse. Mais il ne s'ensuit pas qu'en général la combinaison dont les éléments sont réunis en vertu des plus fortes affinités soit toujours plus facilement décomposée que celle dont les éléments obéissent à des affinités moindres; car le contraire a lieu toutes les fois que l'influence des masses n'intervient pas; influence dont nous montrerons bientôt l'importance dans les décompositions électro-chimiques.

Analysons un peu plus complétement que nous ne l'avons fait jusqu'ici, les phénomènes de décomposition opérés soit avec des appareils voltaïques simples, soit avec des appareils composés.

Commençant par les premiers, reportons-nous à l'appareil composé de deux dissolutions, l'une de sulfate de cuivre, l'autre de sel marin, séparées par un diaphragme en baudruche, et dans lesquelles plongent une lame de cuivre (dans la solution de cuivre) et une lame de zinc (dans l'eau salée). Dès que le circuit est fermé par un fil de métal qui réunit les deux lames, le courant électrique circule; sa direction est telle que le cuivre est le pôle négatif, le zinc le pôle positif, en raison de la réaction de la solution saline sur ce dernier métal. Dans cet état, et conformément aux idées précédemment énoncées, la lame cuivre attire le cuivre du sulfate, tandis que l'oxygène et l'acide sul-

furique se portent sur la lame de zinc. Cet effet ne peut être produit qu'autant que l'intensité du courant résultant de l'oxydation du zinc est plus forte que celle du courant qui se manifesterait dans la réaction de l'acide sulfurique sur l'oxyde de cuivre, s'il était possible de recueillir toute l'électricité dégagée dans cette réaction.

Remplaçons par l'eau le sulfate de cuivre, et l'on reconnaîtra bientôt que l'eau devient alcaline, preuve que le sel marin est décomposé, et que la soude provenant de sa décomposition est transportée sur la lame cuivre, pôle négatif du couple. Non-seulement le sel marin est décomposé, mais encore l'eau, dont l'oxygène oxyde le sodium pour former de la soude, tandis que l'hydrogène est transporté, ainsi que l'alcali, sur la lame cuivre. Ainsi, la décomposition du sel marin et de l'eau sont deux effets simultanés.

Reprenons l'expérience avec le sulfate de cuivre. L'action décomposante du courant sera augmentée par suite de la présence de l'hydrogène qui aidera à la réduction de l'oxyde de cuivre, tandis que la soude qui est transportée, ayant une forte affinité pour l'acide sulfurique, aidera à la décomposition du sulfate de cuivre en formant du sulfate de soude; néanmoins cette décomposition simultanée des deux sels n'a lieu que dans certaines limites, attendu qu'elle dépend du rapport des quantités de chacun des deux sels qui se trouvent dans la solution.

Quand on opère avec un appareil composé, l'acide sulfurique est transporté au pôle positif, si celui-ci est constitué par un métal oxydable et capable de se combiner avec l'acide: ces deux corps réagissent l'un sur l'autre, et il en résulte des effets secondaires. Ces effets, comme on le verra ci-après, sont en rapport avec les effets de décomposition, c'est-à-dire que la quantité de sulfate de cuivre décomposé est en proportion atomique avec celle du nouveau composé qui se forme. Si dans l'appareil simple, comme dans le précédent, on substitue de l'eau acidulée à l'eau salée, on se prive de l'action sur l'acide sulfurique du sulfate, exercée par la soude, transportée au pôle négatif. Mais, à la vérité, on y trouve les deux avantages suivants : 1° l'emploi d'un liquide acide meilleur conducteur que l'eau salée facilite le passage d'une plus grande quantité d'électricité, c'est-à-dire qu'il y a moins d'électricité recombinée au contact du zinc et de l'eau acidulée; 2° l'action chimique étant plus énergique, il y a une plus grande quantité d'hydrogène mise à nu et transportée au pôle négatif, laquelle concourt à la réduction de l'oxyde de cuivre, qui tend à se séparer de l'acide sulfurique sous l'influence du

courant. D'un autre côté, l'eau acidulée présente le désavantage de perdre assez rapidement son acide ; de sorte qu'il y a de grandes variations dans l'intensité du courant. C'est précisément pour cela que lorsqu'on se livre à des expériences de longue durée, il est préférable d'employer des dissolutions salines.

Nous venons d'indiquer d'une manière générale la manière dont s'opère la décomposition électro-chimique d'une solution ; mais nous devons exposer encore quelques-unes des lois fondamentales auxquelles cette décomposition est soumise, et qu'il est indispensable de faire connaître avant d'exposer les propriétés électro-chimiques des corps, qui ne peuvent être étudiées, d'après le plan que nous nous sommes proposé, qu'autant que l'on a isolé ces corps au moyen des forces électriques, c'est-à-dire quand on les a retirés de leurs combinaisons. La première loi est relative à l'action définie de l'électricité.

Il existe un accord parfait entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électro-chimique ; c'est-à-dire que l'on doit considérer les parties équivalentes des corps comme des volumes de ces corps contenant d'égales quantités d'électricité, ou ayant des pouvoirs électriques égaux. Les atomes des corps qui sont équivalents dans les actions chimiques possèdent donc des quantités égales d'électricité. Cet accord est facile à mettre en évidence au moyen d'un appareil très-simple employé par M. Faraday, et qu'il a nommé *voltaïmètre*, parce qu'il donne la mesure de l'action chimique produite par un même courant voltaïque dans diverses dissolutions. Cet appareil, indispensable en électro-chimie, a été construit d'après ce principe, que l'action chimique d'un courant est constante pour une quantité constante d'électricité, malgré les variations dans la dimension des fils ou plaques, dans la nature de la conductibilité des corps qu'elle traverse. Sa forme varie selon les expériences qu'on a en vue ; ce sont ou des tubes droits gradués contenant une plaque soudée à l'or à un fil de platine, et fixée par la fusion à l'extrémité du tube (les plaques sont placées le plus près possible de l'orifice) ; ou bien des tubes recourbés en U remplis d'une solution, et dans chaque branche desquels plonge une lame de platine faisant partie l'une et l'autre d'un circuit voltaïque. On peut voir, pl. XI, fig. 3, plusieurs de ces appareils.

Pour savoir de quelle manière un même courant agit à la fois sur différentes dissolutions, on prend plusieurs voltaïmètres que l'on remplit de dissolutions d'argent, de cuivre, etc. Tous ces appareils communiquent entre eux au moyen de fils de platine, et sont mis

en relation avec une pile voltaïque, de manière qu'ils sont tous traversés par le même courant : l'expérience démontre que les quantités de métal réduit sur les lames négatives sont en proportions atomiques ; d'où se déduit cette vérité, que la même quantité d'électricité sépare des proportions atomiques égales de différents corps. En général, toutes les fois que l'on place dans un circuit voltaïque un voltaïmètre pour mesurer la quantité d'actions chimiques produites, on le remplit d'eau acidulée par l'acide sulfurique, afin de prendre pour unités les quantités de gaz dégagé provenant de la décomposition de l'eau ; de sorte qu'on rapporte les produits de la décomposition électro-chimique des substances à la quantité d'eau décomposée. M. Faraday, auquel est dû l'intéressant travail sur l'action définie de l'électricité, est parvenu à trouver les équivalents électro-chimiques d'un certain nombre de corps, lesquels coïncident parfaitement avec les équivalents chimiques ordinaires. Pour de plus grands développements, voir *Traité d'électricité*, t. III, p. 202.

Il est bien reconnu maintenant que des quantités équivalentes ou des parties atomiques égales de différents métaux dégagent, quand ils s'oxydent, une quantité égale d'électricité douée du même pouvoir chimique, et que la faculté que possède le courant de décomposer une combinaison dépend de sa quantité. M. Faraday avait pensé qu'il fallait faire intervenir l'intensité ; mais quantité et intensité sont synonymes ; il citait pour exemple le fait suivant : Quand un ou plusieurs couples voltaïques, chargés avec un certain liquide, ne décomposent pas une dissolution, on a beau augmenter les dimensions des couples, on n'arrive pas à la décomposition ; tandis que si à ce liquide on en substitue un autre qui produise une action chimique plus forte, le courant produit pourra avoir assez d'énergie pour opérer une décomposition. Ce fait prouve tout simplement que si l'action chimique est plus énergique, il y a plus d'électricité dégagée, et dès lors le courant peut être formé par une plus grande quantité d'électricité, surtout si la conductibilité du liquide est augmentée.

Ainsi, quand on opère avec un couple zinc et platine, fonctionnant avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, si on ne parvient pas à opérer la décomposition d'une combinaison, il suffit d'ajouter quelques gouttes d'acide nitrique, toutes choses égales d'ailleurs, pour l'opérer ; tandis qu'on n'obtient aucun résultat si on augmente la surface du zinc ou la quantité d'acide sulfurique. Le résultat négatif obtenu dans ce dernier cas rentre dans ce qui a été dit précédemment, savoir, *qu'un grand nombre d'actions chimiques faibles*

sous le rapport des effets électriques produits, ne peut jamais égaler une action chimique très-forte s'exerçant sur une très-petite surface. Nous répétons encore qu'il faut tenir compte de la conductibilité du liquide, par la raison toute simple que si le liquide qui produit une action chimique faible est moins bon conducteur que celui qui donne naissance à des effets chimiques plus énergiques, il y a une plus grande recomposition au contact du liquide et du métal ; de sorte que le courant a moins d'intensité, c'est-à-dire qu'il est formé par une moins grande quantité d'électricité. Ainsi l'intensité dérive de la quantité, et elles ne peuvent être séparées l'une de l'autre. De plus, dans le cas cité plus haut, on ne sait si l'on doit attribuer les effets produits, soit à une augmentation dans l'intensité du courant, soit à ce que l'addition de l'acide nitrique, en augmentant le pouvoir conducteur du liquide, a donné une nouvelle énergie au courant, par cela même qu'étant plus décomposable que l'acide sulfurique, elle a fourni plus facilement passage au courant par l'effet de cette décomposition même. Quelques développements à cet égard ne seront pas inutiles au lecteur.

On doit distinguer dans les décompositions électro-chimiques le liquide qui fait fonctionner l'appareil et le liquide qui doit être décomposé. Le premier non-seulement réagit sur le zinc ou le métal le plus oxydable, mais il doit renfermer encore des éléments qui peuvent être facilement séparés par le courant résultant de l'action de ce liquide sur le zinc. Ainsi, plus il renferme de parties facilement décomposables, plus le courant aura d'aptitude à décomposer le second liquide, attendu que la quantité d'action chimique produite est toujours proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe; bien entendu que le second liquide doit renfermer des éléments qui peuvent être séparés par l'action du courant.

M. Matteucci a fait une observation qui doit être prise souvent en considération quand on opère avec des appareils simples. Ce physicien a reconnu que l'on peut augmenter la force chimique du courant en diminuant l'étendue des surfaces décomposantes, ou du moins de l'une d'elles : ce qui est tout naturel ; car la même quantité d'électricité acquiert d'autant plus d'intensité qu'elle passe dans un conducteur métallique plus petit; aussi obtient-on souvent plus d'effets chimiques en opérant avec des fils plutôt qu'avec des lames.

Ainsi quand on opère avec un seul élément et des lames de platine, et prenant de l'eau acidulée pour liquide soumis à la décomposition,

on n'observe point de dégagement de gaz, tandis qu'il a lieu avec des fils d'un très-petit diamètre.

De la loi des masses.

La loi en vertu de laquelle les décompositions électro-chimiques s'opèrent en proportions définies, quand le courant agit sur deux ou plusieurs solutions qui sont séparément soumises à son action, se vérifie-t-elle quand deux ou plusieurs de ces solutions sont mélangées ensemble? et si elle se vérifie, quelle est celle des substances tenues en dissolution qui doive être décomposée, en ayant égard à l'intensité du courant et au rapport du poids de ces quantités? Cette question a été traitée fort au long, t. VI, p. 364 et suiv., de notre *Traité d'électricité*. Nous rapporterons ici seulement quelques-uns des résultats généraux, ainsi que le mode d'expérimentation suivi dans les expériences pour arriver à la vérification de cette loi.

On a pris trois capsules de porcelaine. Dans la première, on a mis une solution saturée de nitrate de cuivre dans l'eau distillée; dans la seconde, une solution saturée de nitrate de plomb; et dans la troisième, une solution saturée de nitrate d'argent. Puis on a fait communiquer, au moyen de lames de platine, la première avec la seconde, celle-ci avec la troisième; et les deux capsules extrêmes ont été mises en relation, au moyen de lames de platine, avec une pile voltaïque à courant constant, de dix éléments, faiblement chargée. Une demi-heure après, les lames négatives ont été enlevées, lavées, séchées et pesées, d'abord avec les précipités, puis sans précipités, afin d'avoir le poids de ces derniers. On a reconnu, comme on devait s'y attendre, que la décomposition s'était opérée en proportion définie.

Dans une seconde expérience, on a expérimenté, non sur des solutions simples de nitrate, mais sur des mélanges, c'est-à-dire que dans la première capsule on a mis un mélange de nitrate de cuivre et de nitrate de plomb, en mêmes proportions atomiques; dans la seconde, une solution de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent; dans la troisième, une solution de nitrate de plomb et d'argent, dans les mêmes proportions atomiques que dans les autres capsules. La décomposition atomique s'est encore opérée en proportion définie; seulement, dans le mélange de la solution de nitrate d'argent et de nitrate de plomb, ainsi que dans celui de la dissolution de nitrate de cuivre et de nitrate d'argent, le nitrate d'argent a été seul décomposé;

tandis que, dans le mélange des solutions de nitrate de plomb et de nitrate de cuivre, le nitrate de cuivre a été seul décomposé. Un grand nombre d'expériences ont été faites, en augmentant successivement les proportions atomiques du nitrate qui n'avait pas été décomposé, afin d'arriver à des proportions telles, que ce sel présentât des traces de décomposition. Voici quelques-uns des résultats obtenus.

Quand on soumet à l'action d'un courant constant de force ordinaire une partie atomique de nitrate d'argent, et deux, quatre, huit, seize, trente-deux, soixante-quatre parties de nitrate de cuivre en dissolution dans cent parties d'eau distillée, le nitrate de cuivre ne commence à être décomposé que lorsqu'il s'en trouve dans la solution un peu plus de soixante parties atomiques pour une de nitrate d'argent. En continuant à augmenter les proportions atomiques de nitrate de cuivre, on finit par arriver à un terme où le dépôt renferme des quantités atomiques égales de cuivre et d'argent. D'après la première loi précédemment énoncée, le courant a dû se partager en deux parties parfaitement égales, puisque les équivalents des corps étant associés à des quantités égales d'électricité, ne peuvent être séparés que par des courants égaux en intensité. De là on tire la conséquence que la force qui unit l'oxygène et l'acide nitrique à un équivalent d'argent dans le nitrate de ce métal, est la même que celle qui unit l'oxygène et l'acide nitrique à un équivalent de cuivre, quand il y a dans la solution soixante-sept parties atomiques de nitrate de cuivre pour une d'argent. Quand il se trouve dans la solution une partie atomique de nitrate d'argent et quatre-vingt-six de nitrate de cuivre, on obtient pour produits de la décomposition électro-chimique une partie d'argent et deux parties de cuivre. Nous devons ajouter que si l'on soumet en même temps à l'action électro-chimique du courant une solution de nitrate de cuivre, on trouve que les quantités de cuivre et d'argent précipitées dans la première capsule correspondent en somme à la quantité atomique de cuivre précipitée dans la seconde ; c'est-à-dire que si dans celle-ci il y a une quantité atomique de cuivre égale à 1, il y a dans l'autre $\frac{1}{2}$ quantité atomique de cuivre et $\frac{1}{2}$ quantité atomique d'argent. Ces résultats démontrent l'influence des masses sur les décompositions électro-chimiques; influence que l'électro-chimiste ne doit jamais perdre de vue, surtout quand il s'agit de former des alliages.

Cette influence des masses ne se fait sentir qu'autant que la quantité de liquide employée reste la même pour le même courant; car les molécules n'étant plus à la même distance, le rapport des masses doit varier au fur et à mesure qu'on étend la solution. Les résultats

sont les mêmes avec des piles composées de dix, vingt, trente éléments; mais on sent bien que si l'on dépassait une certaine limite d'intensité, on finirait par décomposer en partie ou en totalité les deux substances qui se trouvent dans la solution. En effet, si la quantité d'électricité est plus grande que celle nécessaire pour décomposer la substance dont les éléments sont réunis en vertu des plus faibles affinités, la partie excédante se portera sur l'autre substance pour la décomposer.

On n'a pas encore pu obtenir la loi générale exprimant le pouvoir des masses en ayant égard au poids des substances, à la quantité du liquide qui les tient en solution, et à l'intensité du courant. Cette question présente de si grandes difficultés, qu'elle ne peut être résolue que dans des cas particuliers. Ainsi, quand on opère la décomposition d'un mélange de plusieurs substances, il est toujours indispensable de faire des expériences préliminaires pour déterminer la loi des masses dans les circonstances où l'on opère. C'est pour ne pas y avoir égard que souvent il arrive qu'en soumettant à l'action décomposante d'un courant une solution renfermant plusieurs sels, on n'obtient pas sur les électrodes les éléments que l'on cherche, et l'on a ceux dont on ne voulait pas. C'est ce qui arrive, comme on aura l'occasion de le voir ultérieurement, dans la dorure électro-chimique.

De la balance électro-magnétique.

La loi relative à l'action définie de l'électricité et la loi des masses nous conduisent naturellement aux tentatives faites pour mesurer les affinités au moyen des forces électriques. En premier lieu, nous donnerons succinctement la description de la balance électro-magnétique, à l'aide de laquelle on peut essayer de résoudre cette importante question. Cet appareil est destiné à évaluer en poids l'intensité d'un courant électro-chimique, nécessaire pour décomposer une quantité d'une combinaison quelconque. (Voir pl. XI, fig. 4.)

BCT représente une balance d'essai trébuchant à moins d'un milligr.; à chacune des extrémités du fléau ff' on suspend à une petite tige verticale un plateau p, p'; au-dessous de chaque plateau est fixé à un fil de soie un barreau aimanté ab, $a'b'$; ces deux barreaux aimantés, à saturation, tournent leur pôle boréal en bas. On prend ensuite deux tubes creux en verre, d'un diamètre assez grand pour que les deux barreaux puissent y entrer sans toucher les parois; on enroule autour de chacun de ces tubes un fil de cuivre recouvert de

soie, de manière à former une hélice de plusieurs milliers de circonvolutions. Ces deux tubes sont fixés verticalement sur des plateaux horizontaux en cuivre *cc*, *c'c'*, mobiles dans deux directions perpendiculaires entre elles, au moyen de deux vis de rappel *v*, *v'*, afin de pouvoir les centrer par rapport à l'axe des barreaux. Si l'on fait passer un courant à travers le fil d'une des hélices, suivant sa direction, le barreau aimanté s'élèvera ou s'abaissera, et fera participer à ce mouvement le fléau. Si l'on dirige ensuite le courant dans le fil de la seconde hélice, de telle sorte que le mouvement du fléau s'exécute dans le même sens, et qu'on fasse communiquer ensemble les deux hélices, les deux actions s'ajouteront; l'appareil acquiert alors une grande sensibilité par le passage d'un faible courant dans tout le circuit. Nous allons donner une application de ce mode d'expérimentation. On a pris une lame de zinc et une lame de cuivre présentant chacune une surface de 4 centim. carrés. Après les avoir mises en communication avec les deux extrémités libres des deux hélices, on les a plongées dans 10 gr. d'eau, auxquels on avait ajouté une seule goutte d'acide sulfurique. Les plateaux ont trébuché, et il a fallu $0^{gr},0355$ pour maintenir l'équilibre. En opérant avec de l'eau distillée, on n'a employé que $0^{gr},0025$; d'où il résulte que l'intensité du premier courant est à celle du second dans le rapport de 355 à 25, ou comme 14 : 1. On peut voir, *Traité d'électricité*, t. V, p. 212, diverses expériences faites avec cet appareil, qui peut servir également à mesurer les courants thermo-électriques, et par suite à évaluer les températures.

Arrivons maintenant à la mesure des affinités. On conçoit qu'un courant qui opère la séparation des éléments d'une substance composée peut servir à représenter la force qui unit ces éléments, et par suite à mesurer leur affinité réciproque; mais la difficulté est de déterminer rigoureusement l'intensité du courant nécessaire pour opérer la séparation des éléments. Toute la question est là. Or, le principe dont nous allons nous servir est celui découvert par M. Faraday, et qui est relatif à la nature définie de la décomposition électro-chimique; principe en vertu duquel le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité d'électricité qui passe. D'un autre côté, en employant le voltaïmètre dans un circuit dont font partie plusieurs dissolutions soumises à l'action électro-chimique, on conçoit qu'il est inutile d'opérer avec un courant constant, puisque tous les appareils décomposants se trouvant liés ensemble, éprouvent tous en même temps les effets des variations du

courant. Les effets sont donc les mêmes que si le courant avait une intensité primitive invariable. Voyons maintenant comment on peut établir les rapports entre les effets chimiques produits et l'intensité de la force mise en action par le courant constant. La solution de cette question, si l'on veut remonter à la force strictement nécessaire pour vaincre les affinités, présente des difficultés ; mais nous ne les croyons pas impossibles à vaincre. Lorsqu'on fait passer un courant invariable dans deux dissolutions de nitrate de cuivre à différents degrés de saturation, et communiquant d'une part avec un fil de cuivre, de l'autre avec deux fils de même métal en relation avec l'appareil décomposant, la quantité de sel décomposé est absolument la même dans les deux solutions. Dans une expérience, on a pris $2^{gr},8$ de nitrate de cuivre sec, que l'on a fait dissoudre dans $10^{gr},3$ d'eau ; moitié de la solution a été augmentée de son volume d'eau distillée. Les deux fils de cuivre qui plongeaient dans les deux branches négatives pesaient chacun $0^{gr},3385$. Après quarante-huit heures d'expérience, ces fils pesaient chacun $0^{gr},36$; ils avaient donc gagné en poids $0^{gr},0215$. L'intensité du courant exprimée en poids était représentée par $0^{gr},003$.

La déviation de l'aiguille aimantée était égale à 66° ; l'intensité du courant ayant été diminuée de moitié, la déviation n'a plus été que de 45°. La quantité de cuivre réduit dans l'espace de quarante-huit heures a été trouvée égale à $0^{gr},01$, c'est-à-dire moitié de ce qu'elle était dans l'expérience précédente. On a soumis les mêmes fils et les mêmes solutions à l'action d'un courant faisant équilibre à $0^{gr},003$, pendant douze heures ; on a obtenu $0^{gr},0015$. Or, si l'on compare les quantités de cuivre réduit dans les deux expériences, on les trouve exactement proportionnelles aux intensités du courant. Diverses expériences du même genre ont été faites sur des solutions d'argent, en variant la densité de ces solutions et l'intensité du courant. On voit donc que lorsque la source reste constante, si l'on diminue l'intensité du courant en introduisant dans le circuit des fils métalliques d'une certaine longueur, les quantités de métal réduit sont exactement proportionnelles aux intensités du courant.

Dans ces expériences on tient compte de l'intensité du courant. On a cherché avec la balance électro-magnétique, lorsque l'on soumettait à l'action d'un courant d'une intensité connue des dissolutions de différents métaux, dans quels rapports se trouvaient les quantités de métal réduit. Trois dissolutions, l'une de cuivre, l'autre d'argent, et la troisième de zinc, ont été introduites, au moyen de tubes en U, dans le circuit voltaïque d'un appareil composé de deux couples à courant

constant; chacune de ces dissolutions en contact du côté positif avec une lame de platine, et du côté négatif avec une lame de métal, l'intensité du courant faisait équilibre à un poids de 0gr,005. Après vingt-quatre heures d'expérience, l'argent précipité pesait 0gr,0305; le poids du cuivre précipité, 0gr,0090; le poids du zinc précipité, 0gr,00912. Or, si l'on cherche le rapport des trois quantités de métal précipitées, on trouve qu'elles sont exactement proportionnelles aux poids atomiques de l'argent, du cuivre et du zinc, puisque, si l'on considère les deux premières, on a 305 : 90 :: 108, poids atomique de l'argent : 31,8, au lieu de 31,6, poids atomique du cuivre. De même, 3050 : 912 :: 108 : 32,3, au lieu de 32,5 trouvé par M. Faraday. On voit donc que l'appareil à courant constant composé seulement de deux couples, avec la balance électro-magnétique, a permis de vérifier la loi relative à la nature définie de la décomposition électro-chimique, en tenant compte de l'intensité de la force qui a produit la décomposition. Examinons maintenant jusqu'à quel point les principes précédents peuvent servir à la mesure des affinités, en faisant usage toutefois d'un courant constant. Supposons qu'on ait introduit dans un circuit voltaïque, dont la balance électro-magnétique fait partie, une dissolution de nitrate de cuivre, on peut toujours diminuer l'intensité du courant de manière à n'avoir seulement que des traces de décomposition. Dès que le cuivre paraît sur la lame négative, on est certain que le courant a la force nécessaire pour détruire l'affinité qui unit l'oxygène et l'acide nitrique au cuivre. On note l'intensité du courant correspondante. On soumet ensuite à l'expérience une même quantité atomique de nitrate d'argent dissoute dans la même quantité d'eau, dont on a déterminé le pouvoir conducteur pour l'électricité, qui devient un élément indispensable, et l'on cherche comme précédemment l'intensité du courant nécessaire pour que le nitrate d'argent puisse être décomposé. On conçoit que le rapport des intensités, dans les deux cas, en ayant égard au pouvoir conducteur des solutions, peut servir à représenter le rapport des affinités. Cette méthode nous paraît tellement rationnelle, que nous pensons qu'elle peut être appliquée à la solution de la question.

M. Edmond Becquerel a indiqué aussi un procédé électro-chimique à l'aide duquel on obtient des valeurs approchées des rapports de l'affinité de plusieurs corps; mais il ne pourra en être question qu'en parlant du chlore et du brôme, attendu que nous manquons de principes pour l'exposer.

Action du courant sur plusieurs dissolutions.

Pour bien connaître l'action d'un courant qui traverse successivement plusieurs dissolutions, on opère de la manière suivante :

On prend trois capsules de porcelaine communiquant ensemble au moyen de tubes de verre remplis d'argile humide. Plaçons dans les deux vases extrêmes de l'eau, et dans celui du milieu une solution de chlorure de sodium; en faisant communiquer les deux dernières, chacune avec l'un des pôles d'une pile de trente coupies, aussitôt le chlore se montre au pôle positif et l'alcali au pôle négatif. La décomposition a eu lieu, bien que les lames décomposantes ne soient pas en contact immédiat avec la solution saline. On aurait obtenu le même effet si la solution eût été placée dans les capsules extrêmes et que la capsule du milieu n'eût renfermé que de l'eau. Le transport des éléments s'effectue avec une telle énergie, que souvent ils traversent des milieux dans lesquels se trouvent des corps qui ont pour eux une grande affinité sans s'y arrêter. Si, dans la capsule positive, on met de l'eau pure, dans celle du milieu une solution d'ammoniaque, et dans la capsule négative une solution de sulfate de potasse, la potasse reste dans cette capsule et l'acide est transporté dans la capsule négative, bien qu'il ait traversé une solution d'ammoniaque, avec laquelle cependant il a beaucoup d'affinité. Il n'en est plus ainsi lorsque l'acide ou l'alcali rencontrent sur leur passage un corps avec lequel ils peuvent former un composé insoluble, et quand la pile n'a pas assez d'énergie pour vaincre les affinités qui unissent les éléments de ce dernier. Dans ce cas, la combinaison s'effectue et le corps primitivement transporté cesse de faire partie du circuit; et c'est précisément ce qui arrive quand la capsule du milieu renferme un sel à base de baryte, et la capsule négative une solution d'un sulfate. L'acide sulfurique, en traversant la solution barytique, décompose le sel et forme un sulfate de baryte qui se précipite. La loi que nous annonçons est générale; toutefois il ne faut pas oublier que le précipité ne se forme que lorsque la pile ne fournit pas un courant assez intense pour séparer les éléments du composé insoluble. Quelques exemples feront connaître les conditions nécessaires pour que les décompositions s'effectuent. Prenons deux tubes de verre fermés avec de l'argile très-pure, à leur extrémité inférieure, afin que la solution mise dans chacun d'eux ne puisse s'échapper, et plongeons-les à moitié dans un vase rempli d'eau; le premier tube, plein d'une dissolution de nitrate de cui-

vre, communique avec le pôle positif d'une pile; le second, rempli d'eau acidulée, est en communication semblable avec le pôle négatif; l'eau seule est décomposée. Le nitrate de cuivre ne l'est pas, parce que l'oxyde de cuivre ne trouve pas sur son passage, pour se rendre sur la lame négative, des éléments avec lesquels il puisse former des composés solubles. Avec une pile plus énergique que celle qui servit alors qu'on fit cette expérience, le nitrate de cuivre aurait été décomposé. En substituant un nitrate alcalin au nitrate de cuivre, la décomposition s'exécute très-facilement. Si l'on verse dans le tube négatif une solution de sulfate de cuivre, et dans le tube positif une solution de nitrate de potasse, l'eau est décomposée et l'acide nitrique est mis à nu. En se rendant dans le tube négatif, la potasse réagit sur le sulfate de cuivre, chasse une partie de l'oxyde de cuivre qui est réduit par l'action combinée du courant et de l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, et forme un double sulfate de cuivre et de potasse qui, en raison de son peu de solubilité, cristallise bientôt sur les parois du tube. Tant qu'il reste du sulfate de cuivre à décomposer, et qu'il y a une quantité suffisante de nitrate de potasse dans le tube positif, l'acide sulfurique n'est pas transporté dans celui-ci. Nous avons parlé de ces phénomènes dans la théorie des décompositions.

Si, dans le tube positif, on met une solution de nitrate de potasse dont l'argile intermédiaire soit humectée, et dans le tube négatif un mélange à parties égales d'une solution de nitrate et une autre de sulfate de cuivre, ces deux sels seront décomposés, mais successivement et à des époques assez éloignées. Il y a réduction du cuivre sur la lame négative ; il passe de la potasse dans le tube négatif, elle s'y combine avec une portion de l'acide sulfurique. L'acide nitrique devient libre dans le tube positif, et aucun réactif ne peut y faire reconnaître la présence de l'acide sulfurique libre. Ce qui démontre que le nitrate de potasse, d'une part, celui de cuivre, de l'autre, ont été décomposés avec transport de leurs éléments à leurs pôles respectifs; tandis que le sulfate de cuivre, par les actions combinées du courant et de la potasse, a été également décomposé, mais sans transport de l'acide au pôle positif, parce qu'il s'est formé un double sulfate, comme précédemment.

Nous n'avons plus qu'à indiquer une autre circonstance importante quand on opère avec des courants de faible intensité. Supposons de l'eau dans le tube positif, et dans le tube négatif un sulfate alcalin et l'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse, le sulfate est décomposé; en traversant l'argile, l'acide sulfurique réagit sur le

nitrate de potasse, chasse l'acide nitrique dans le tube positif, tandis que l'acide sulfurique se combine avec la potasse. Ces effets n'ont lieu que lorsque le courant a une force peu intense. Ces observations doivent être prises en considération par tontes les personnes qui veulent s'occuper sérieusement de l'étude de l'électro-chimie. Les faits qui précèdent ne suffisent pas pour expliquer tous les phénomènes de décomposition, il faut encore avoir égard à plusieurs principes que nous allons exposer.

Dans le chapitre deuxième, nous avons indiqué le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité, pouvoir qui paraît avoir de très-grands rapports avec ceux pour la chaleur. Ce pouvoir est en raison inverse de la longueur du circuit et en raison directe de sa section toutes les fois que la source électrique reste la même et que le circuit est composé de la même substance. Cette loi est la même pour les courants thermo-électriques que pour les courants hydro-électriques. Nous ne sommes entré dans aucun détail sur les divers procédés mis en évidence pour démontrer cette loi, attendu que l'on peut consulter ce que nous avons dit à cet égard dans le *Traité d'électricité et de magnétisme*, t. III, page 74. Mais nous n'avons rien dit de ce qui concerne le pouvoir conducteur des liquides dont on ne s'était occupé que d'une manière très-incomplète jusqu'à ce que M. Pouillet ait traité cette question. Nous allons rapporter les principaux résultats auxquels ce physicien est parvenu dans la comparaison qu'il a faite de la conductibilité relative des liquides et des métaux. Il a prouvé d'abord que la loi de conductibilité, pour les liquides, est la même que pour les métaux. Pour faire cette comparaison, il place plusieurs systèmes de tubes analogues à celui représenté dans la planche XI, fig. 5, les deux tubes d'un même système étant toujours égaux et bien cylindriques, et il les remplit d'un liquide, puis il fait passer un courant par les tubes et par une boussole de sinus en établissant successivement les communications de trois manières différentes. Dans la première expérience, le courant ne passe que par des tubes, et traverse ainsi une colonne liquide de longueur 1 et de section 1. Dans la deuxième expérience, le courant passe par les deux tubes à la fois, et traverse une colonne de longueur 1 et de section 2. Dans la troisième, le courant passe par l'un des tubes, puis revient par l'autre, et traverse par conséquent une longueur 2 et une section 1. En comparant les résultats obtenus, on trouve que l'intensité du courant est en raison directe de la section et en raison inverse de la longueur. Toutes les fois que les tubes ont de grands diamètres et sont remplis de liquides bons

conducteurs, il faut tenir compte de la résistance de la pile et de la longueur du fil qui forme le circuit de la boussole. Dans tout autre cas, ce n'est pas nécessaire. Il faut toujours avoir l'attention de plonger dans le liquide le même métal, et le prendre d'une nature telle qu'il ne soit pas attaqué par le liquide, afin d'éviter un courant électro-chimique qui empêcherait de considérer la source comme constante. M. Pouillet a reconnu que la loi de l'intensité se vérifie toutes les fois que la longueur des colonnes liquides est égale au moins à cinq ou six fois le diamètre. Une fois celle-ci bien constatée, il a comparé la conductibilité d'un liquide à un métal, et ensuite celle de ce liquide avec tous les autres. Le liquide qu'il a choisi était une dissolution saturée de sulfate de cuivre à la température de 15°. Voici de quelle manière il a procédé à la comparaison de sa conductibilité à celle du platine (*Éléments de physique*, tome Ier, page 629, trois. édit.) :

« Sur une planche de 2 mètres de longueur et d'une largeur convenable, on a planté à chaque bout une rangée de petites chevilles « de 2 centimètres de hauteur, de 5 millimètres de diamètre, et espacées de 1 centimètre de centre en centre; puis l'on a fait passer « un fil de platine d'une cheville à sa correspondante de l'autre bout « de la planche, jusqu'à ce que les 200 mètres de longueur de fil « fussent ainsi étalés sans se toucher; à chaque cheville d'une rangée « correspondent ainsi 4 mètres de fil, ce qui donne 50 chevilles dans « chaque rangée : à chacune le fil est arrêté par une goutte de cire à « cacheter.

« A côté de cet appareil, on a disposé horizontalement un long « tube cylindrique de 1 mètre de long et de 20 millimètres de diamètre, rempli de la dissolution de sulfate de cuivre; puis l'on a fait « passer le courant d'une pile sur une boussole et par la dissolution; « en observant avec soin la déviation correspondante immédiatement après, on a fait passer le même courant par la même « boussole et par une longueur convenable du fil de platine, de « manière à obtenir la même déviation à la boussole, ce qui n'exige « pas de longs tâtonnements, parce qu'on touche le fil de platine avec une pince de cuivre bien amalgamée que l'on fait passer « d'un fil à l'autre, ou que l'on promène sur le fil jusqu'à ce que la « condition soit remplie; alors, il est évident que cette longueur du fil « de platine, qu'il faut introduire dans le circuit, est équivalente à « la colonne liquide; par conséquent, la conductibilité du platine « et celle du liquide sont entre elles comme le rapport direct

« des longueurs multiplié par le rapport inverse des sections.

« La longueur du fil de platine est de 132 mètres, et son diamètre « de $\frac{144}{1000}$ de millimètre.

« La longueur de la colonne liquide est 1 mètre, et son diamètre « de 20 millimètres, d'où il est facile de conclure que la conductibilité « du platine est 2546680, c'est-à-dire qu'elle est deux millions cinq « cent mille fois et demie plus grande que celle du sulfate de cuivre.

« La conductibilité du cuivre étant six fois et demie celle du platine, « on voit qu'elle est seize millions de fois plus grande que celle de la « dissolution; et celle du palladium est environ trente millions de fois « plus grande.»

Pour comparer maintenant les autres liquides au sulfate de cuivre, il s'est servi de l'appareil, pl. XI, fig. 6, composé de trois tubes cylindriques de différents diamètres, terminés par en bas par des bouchons de cuivre, et recevant à leur partie supérieure un long fil de cuivre pouvant s'enfoncer plus ou moins dans les tubes où se trouve la solution de cuivre; l'autre liquide est placé dans un tube horizontal et de dimension convenable; l'on fait passer le courant par la boussole et par le liquide à essayer, puis par la boussole et par celui des tubes verticaux qui convient le mieux, en enfonçant le fil de cuivre jusqu'à ce qu'on arrive à obtenir la même déviation que dans l'expérience qui a été faite avec le liquide; il suffit de comparer ensuite les longueurs et les sections des colonnes soumises à l'expérience. Nous rapportons ici les résultats obtenus.

	Conductibilité.
Dissolution saturée de sulfate de cuivre.....	1
Idem étendue de 1 volume d'eau.....	0,64
Idem 2 »	0,44
Idem 4 »	0,31
Idem saturée de sulfate de zinc.....	0,417
Eau distillée.....	0,0025
Eau avec $\frac{1}{20000}$ d'acide nitrique.....	0,015

Ces expériences sont les seules qui aient encore été faites pour comparer le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité au pouvoir conducteur des liquides. La méthode, quoique très-rationnelle, n'est pourtant pas à l'abri d'erreurs que nous allons signaler. Toutes les fois qu'on ne change pas le métal qui sert à établir la communication entre les liquides et le circuit métallique, la perte d'électricité est la même; mais, comme M. Edmond Becquerel l'a démontré, elle varie avec l'intensité du courant et avec les effets électro-chimiques;

de sorte que si l'on n'a pas égard aux changements dans la quantité d'électricité qui disparaît, on ne peut pas dire que, dans les expériences, il n'y a de différence que celle provenant de la section et de la longueur de la colonne liquide; mais comme les résultats de M. Pouillet sont les seuls qui aient été obtenus avec un certain degré d'exactitude, nous avons dû les consigner ici.

Pour compléter ce qui concerne le pouvoir conducteur des corps, il ne reste plus qu'à examiner la relation existant entre la conductibilité électrique des corps non métalliques à l'état solide, et celle des corps à l'état liquide.

Les métaux possèdent cette propriété, que leur pouvoir conducteur pour l'électricité diminue à mesure que l'on élève leur température; cela se conçoit : leurs éléments n'étant pas transportés par le courant, il en résulte qu'ils sont plus écartés, dès lors, le courant éprouve plus de difficulté à passer d'un élément à un autre. Ce fait est très-facile à vérifier par l'expérience. Supposons que l'on fasse passer dans un multiplicateur, par l'intermédiaire d'un fil de platine, un courant électrique, et que l'aiguille aimantée se trouve dans une position fixe; si l'on vient à faire rougir le fil de platine en un point quelconque, on voit aussitôt l'aiguille aimantée rétrograder, ce qui annonce une diminution dans l'intensité du courant. Ainsi la chaleur, en dilatant les molécules du platine à la partie chauffée, n'a pas permis au métal de transmettre la même quantité d'électricité.

Dans les liquides, on retrouve des effets inverses, c'est-à-dire que la chaleur augmente le pouvoir conducteur. Les sels solides ne sont pas, ou du moins sont de très-mauvais conducteurs, tandis que les sels liquides facilitent le passage du courant, par cela même que leurs particules ayant plus de facilité à se mouvoir, peuvent être transportées plus aisément par le courant. Nous en avons un exemple dans l'eau, qui renferme quelques gouttes d'acide; mais elle cesse d'être conductrice quand elle est solide. Et ce corps n'est pas le seul; la potasse et la soude jouissent de la même propriété. Quand elles sont parfaitement desséchées après une forte calcination, elles ne conduisent pas, et ne reprennent leur faculté conductrice que lorsqu'elles sont légèrement humectées. Il faut dire que c'est l'hydrate qui est décomposé. Voici encore quelques exemples d'un autre genre :

Le chlorure de plomb solide ne conduit pas; mais si on le tient en fusion au moyen d'une lampe à alcool, non-seulement il acquiert la propriété de transmettre le courant, mais encore il est décomposé.

Les chlorures d'argent, de potasse, etc., se comportent de même.

On doit, en outre, remarquer que les substances qui s'amollissent avant de se liquéfier, n'acquièrent le pouvoir conducteur que lorsque la liquéfaction en est entièrement effectuée. Le borax en est un exemple.

Il y a cependant des exceptions; car il y a des corps qui ne sont conducteurs ni à l'état solide, ni à l'état liquide, tels que le soufre, le phosphore, l'iodure de soufre, le biiodure d'étain, l'orpiment, le réalgar, le verre liquéfié. Mais néanmoins, si le verre contient un excès de plomb ou de potasse, il acquiert alors la propriété conductrice à l'état liquide.

En général, la liquéfaction confère un pouvoir électrique très-grand aux substances non métalliques. L'eau paraît être celui de tous les corps dont le pouvoir conducteur soit le plus diminué par l'état solide. Sa conductibilité est d'environ cent fois moindre que celle des divers oxydes et des chlorures à l'état liquide.

M. Faraday pense que l'accroissement de pouvoir conducteur que reçoit l'eau quand on y dissout un sel, dépend de celui de ce sel à l'état liquide. Il peut se faire aussi, en s'appuyant sur les principes énoncés précédemment, que cet accroissement soit dû à ce que le courant décompose plus facilement les sels que l'eau.

On a vu précédemment la chaleur diminuer le pouvoir conducteur des métaux, tandis qu'elle augmentait celui de diverses substances non métalliques. M. Faraday a trouvé un composé qui fait exception à la règle générale; c'est le sulfure d'argent, dont le pouvoir conducteur augmente, pour l'électricité voltaïque à petite tension, avec la chaleur. Quant aux autres sulfures métalliques, tels qu'on les trouve dans la nature, les proto et persulfure de fer, le fer arsenical, le double sulfure de cuivre et de fer, ils conduisent tous plus ou moins bien le courant à la température ordinaire; mais la chaleur ne paraît pas modifier en rien ce pouvoir.

M. Faraday, qui s'est beaucoup occupé d'expériences relatives aux relations qui existent entre le pouvoir conducteur des corps et l'action décomposante du courant, ayant remarqué que le protochlorure d'étain conduisait rapidement et était facilement décomposé, tandis que le perchlorure ne possédait aucune de ces deux facultés, et cela parce que ces deux composés ne diffèrent que par un atome de chlore, il supposa que les décompositions électro-chimiques étaient soumises à quelques lois sous le rapport de la composition atomique.

Les nombreuses expériences qu'il a faites à cet égard tendent à

prouver que tous les corps qui peuvent être décomposés, quand ils se trouvent à l'état liquide, sont ceux formés de proportions simples de leurs principes constituants; mais, pour ce qui concerne les sels et les corps composés, la loi n'a pas le même degré de simplicité.

Il a de plus trouvé que les oxydes, les chlorures, les iodures, sont conducteurs et décomposés, à l'exception du chlorure d'antimoine et du periodure de mercure, tandis que plusieurs combinaisons doubles de ces éléments échappent à la loi.

La loi précédente, qui semble établir que les combinaisons formées de simples proportions atomiques sont conductrices et sont décomposées, n'est pas générale, car on peut citer des composés de cet ordre qui ne sont ni conducteurs ni décomposés : tels sont le carbure de soufre, le chlorure de soufre, etc. Tout ce que l'on peut dire, c'est que les corps décomposables sont formés de proportions atomiques en nombre simple, tandis que la réciproque n'est pas vraie.

M. Matteucci a établi, en outre, les propositions suivantes :

Si un courant électrique décompose dans le même temps trois combinaisons mises séparément sur sa route, et dont la première renferme deux équivalents, la deuxième un équivalent avec deux équivalents, la troisième un équivalent avec trois équivalents, on trouve l'action chimique du courant sur chacune d'elles, mesurée par la quantité de ces trois combinaisons qui ont été décomposées, variant comme $1\ \frac{1}{2} : \frac{1}{6}$. Si, comme tout le démontre, l'action chimique du courant est proportionnelle au degré d'affinité des éléments qu'il a séparés, on doit en conclure que les degrés d'affinité qui lient les deux éléments dans ces trois composés, de 1 à 1, de 1 à 2, de 1 à 3, sont comme les nombres 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$. L'expérience suivante met en évidence la dernière conséquence : si l'on fait passer un courant dans l'eau d'un voltaïmètre et dans du chlorure d'antimoine fondu, on obtient pour l'antimoine réduit un nombre égal au $\frac{1}{6}$ de celui adopté en chimie.

M. Matteucci a repris ensuite les recherches de M. Faraday relatives au rapport qui doit exister entre le pouvoir chimique du courant et l'affinité.

Ces recherches présentaient quelques difficultés, parce que le nombre des combinaisons fusibles à une température peu élevée, et composées d'un équivalent avec un équivalent, est très-limité, et qu'il ne pouvait mêler ses composés, vu qu'ils étaient à l'état de fusion. Au lieu de faire partager le courant qui traverse le mélange de deux dissolutions en deux parties égales comme nous l'avons fait, il a divisé le courant principal en deux courants partiels; voici comment : le cou-

rant de la pile passait à travers de l'eau acidulée à 22° B., contenue dans un voltaïmètre, et ensuite par deux arcs semblables de platine ; il se divisait entre deux voltaïmètres *a* et *a'*, et les deux parties se réunissaient. Ensuite dans les deux voltaïmètres *a* et *a'* se trouvaient les composés qu'on voulait soumettre au passage du courant pour en étudier le pouvoir conducteur.

La somme des produits obtenus en *a* et *a'* était toujours équivalente à la quantité d'eau décomposée dans le grand voltaïmètre. On a cherché si, en faisant varier l'intensité du courant, mesurée par le nombre de centimètres cubes des éléments gazeux de l'eau, dégagés dans un temps donné, on faisait changer le rapport de décomposition électro-chimique des deux liquides qui n'ont pas le même pouvoir conducteur, et qui sont contenus dans les deux voltaïmètres partiels. On a employé d'abord le même liquide dans tous les voltaïmètres en faisant varier la quantité d'acide sulfurique ajouté à l'eau. Si on a dans les deux voltaïmètres *a* et *a'* deux solutions d'eau et d'acide sulfurique, dont l'une soit plus conductrice que l'autre, et qu'on augmente l'intensité du courant, on trouve qu'une plus grande portion du courant passe par le voltaïmètre qui contient l'eau plus acidulée. Voici la disposition adoptée dans les expériences :

Voltaïmètre A, eau acidulée à 1,232. Voltaïmètre *a*, *idem*. Voltaïmètre *a'*, corps dont on voulait étudier le pouvoir conducteur avec celui de l'eau. Il faut avoir l'attention de ne faire passer le courant que lorsque les combinaisons sont à l'état de fusion complète, et placer les extrémités des lames de platine à la même distance dans tous les voltaïmètres. Pour ne pas peser chaque fois la quantité de métal séparée dans *a'*, on mesure la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. La quantité de la combinaison décomposée en *a'* est équivalente chimiquement à la quantité d'eau qui forme la différence entre l'eau décomposée dans le voltaïmètre A et l'eau décomposée en *a*. Voici les principaux résultats qui ont été obtenus :

L'eau acidulée de *a* n'est pas décomposée lorsque le courant peut se partager entre elle et le protoxyde de plomb, le chlorure d'argent, l'iodure de plomb. De ce résultat et d'autres qu'on ne rapporte pas, M. Matteucci a conclu que l'eau la plus acidulée avec l'acide sulfurique est inférieure en pouvoir conducteur aux composés binaires du premier ordre essayés.

Dans le voltaïmètre *a*, il a substitué de l'acétate de plomb à l'état de fusion ignée, et l'a comparé à l'oxyde de plomb mis dans le voltaïmètre *a'*. — Résultats. — 12 centimètres cubiques en A, 9 à 10

milligr. de plomb dans l'acétate de plomb, et 60 milligr. dans l'oxyde. On voit par là que l'oxyde de plomb à l'état de combinaison est plus décomposable que le même oxyde libre. Il a montré que l'oxyde d'argent est plus décomposable que l'oxyde de plomb, ce qui indique que les composés se laissent d'autant plus facilement décomposer par le courant que l'affinité est moins forte, comme nous l'avions établi nous-mêmes dans notre travail sur l'influence des masses. Ce principe a été vérifié par de nombreuses expériences. M. Matteucci a reconnu ce qu'avait déjà avancé M. Faraday, que, dans le plus grand nombre de cas, le pouvoir conducteur des corps est essentiellement lié à leur degré de décomposition électro-chimique.

De la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution.

Les acides sulfurique, phosphorique, augmentent la décomposition électro-chimique de l'eau sans être décomposés eux-mêmes; les acides chlorhydrique, iodhydrique, etc., combinés avec l'eau, sont directement décomposés par le courant: l'augmentation de la décomposition n'est plus due à l'eau, mais aux acides. M. Matteucci a démontré que, dans quelques cas, l'eau et ces acides mélangés sont décomposés dans le même temps, toujours suivant la loi de l'action chimique définie du courant; que, lorsqu'une combinaison du second ordre est dissoute dans l'eau, cette combinaison seule est décomposée directement, suivant la loi de l'action définie, comme l'a reconnu également M. Daniell, quant à l'action des acides sulfurique et phosphorique. Voici comment ces physiciens l'ont envisagé : l'eau se combine chimiquement avec ces acides, de manière à former des combinaisons en dissolution dans l'eau; dès lors on doit avoir, par le passage du courant, les mêmes produits que dans la décomposition d'une dissolution saline, c'est-à-dire, l'eau et l'hydrogène au pôle négatif, tandis que l'oxygène et l'acide se portent au pôle positif. M. Daniell a confirmé cette conséquence, comme il suit : si l'on divise un récipient en deux parties par un diaphragme, et que l'on mette dans chacune d'elles de l'eau acidulée, on trouve que, dans le liquide où plonge la lame négative, une partie de l'acide sulfurique a disparu pour se rendre au pôle positif. Or, en cherchant en équivalents la quantité d'acide sulfurique séparée, comparée à la quantité d'eau ou d'un autre composé soumis à l'action du même courant, M. Daniell a trouvé que, quelle que soit la densité de l'eau acidulée pour un équivalent d'un électrolyte, il y un quart d'équivalent d'acide sulfurique transporté au pôle

positif. M. Matteucci, en variant la densité des solutions acides depuis 1,023 jusqu'à 1,076, a obtenu pour un équivalent d'un électrolyte quelconque, la moitié d'un équivalent d'acide sulfurique; en augmentant beaucoup la densité des solutions acides, les rapports deviennent très-variables. Néanmoins il paraît bien démontré que dans le passage du courant par l'eau acidulée, c'est bien une combinaison d'eau et d'acide qui est décomposée dans un rapport déterminé. M. Matteucci a comparé entre elles deux solutions, l'une d'acide phosphorique, l'autre d'acide sulfurique, en employant les deux voltaïmètres partiels. L'expérience, qui se réduisait à comparer entre eux les produits gazeux donnés par les deux solutions pour une quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre principal, a montré qu'à la même densité le courant ne se partage pas également entre elles; que la solution sulfurique est plus décomposable que l'autre; que pour une quantité de mélange gazeux obtenue dans le voltaïmètre A, on avait dans a et a' des quantités de même mélange dans le rapport de 1 : 15. En ajoutant de l'acide phosphorique à la solution jusqu'au point d'y obtenir la même quantité de mélange gazeux que dans la solution sulfurique, en comparant les quantités des deux acides ajoutés à une même quantité d'eau, il a trouvé que ces quantités étaient dans un rapport qui ne diffère pas beaucoup de celui des nombres équivalents des deux acides. Il paraît résulter de là que l'influence des acides sur la décomposition de l'eau dans laquelle ils sont dissous est liée à l'état de combinaison dans lequel ces acides entrent avec l'eau. Quant à l'action des sels dissous dans l'eau, plus il y a de sels dissous, plus la solution est conductrice et plus les produits de la décomposition électro-chimique deviennent abondants.

On doit considérer le sel dissous dans l'eau comme s'il était à l'état de fusion, de sorte que sa moindre décomposition électro-chimique ne peut s'expliquer que par sa moindre densité et par l'action chimique de l'eau.

Voici une expérience rapportée par M. Matteucci, et qui vient à l'appui de cette manière de voir :

« J'ai préparé deux solutions de nitrate d'argent, une dans l'alcool « à 34° B., l'autre dans l'eau. Il a fallu chauffer ces deux dissolutions « jusqu'à 31° C.; c'est ainsi que j'ai pu dissoudre dans 21 gr. d'alcool « 3gr.,390 de nitrate d'argent; l'autre solution aqueuse contenait « 0gr.,135 de nitrate sous le même volume, et je l'ai chauffée pour « avoir des circonstances identiques. J'ai versé ces deux solutions « dans les voltaïmètres a et a' (dont il a été question dans le para-

« graphe précédent). Ces deux solutions du même sel dans deux li-
« quides différents avaient sensiblement la même densité et étaient
« aussi également électrolysables. Pour 18cc. de mélange gazeux du
« voltaïmètre A, j'ai eu 57 mill. d'argent dans la dissolution alcoo-
« lique, et 56 dans la solution aqueuse. La somme de ces deux
« nombres qui sont presque égaux correspond exactement à la quan-
« tité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. »

Nouvelle nomenclature électro-chimique.

M. Faraday a cherché à établir une nouvelle nomenclature des termes employés en électro-chimie. Regardant comme impropres la dénomination de pôles donnée aux extrémités de la pile, ainsi que celle de lames décomposantes donnée aux lames de platine employées pour opérer les décompositions, il a appelé ces mêmes lames *électrodes* (route que sult l'électricité) ; ainsi l'électrode positive est la lame décomposante par laquelle débouche l'électricité positive dans une dissolution, et l'autre, l'électrode négative.

La première est appelée *anode* et la seconde *catode*. (Voir *Traité de l'électricité*, tome III, page 192.)

Il a appelé électrolytes les corps dont les éléments sont séparés par l'action du courant électrique : ce mot dérive de deux mots grecs : Ἤλεκτρον et λύω, électricité à délier. De là, on déduit l'expression *électrolyser*, qui est le synonyme de décomposer, d'analyser au moyen de l'électricité.

L'acide hydrochlorique est un électrolyte ou un corps électrolytique, attendu que le courant isole le chlore de l'hydrogène ; tandis que l'acide borique ne l'est pas, puisqu'il n'est pas décomposé.

On est dans l'usage d'appeler les acides corps électro-négatifs, par cela même qu'ils se rendent au pôle positif de la pile, et électro-positifs les autres corps, parce qu'ils se rendent au pôle négatif.

M. Faraday propose d'appeler *anions* les corps qui vont à l'anode, ou pôle positif, et *cassions* ceux qui vont à la catode, ou pôle négatif. En adoptant son langage, il faudra dire : « Si l'on soumet à l'expérience le chlorure de plomb, ce composé est un électrolyte, parce qu'il est susceptible d'être décomposé par l'électricité. Quand il est électrisé, ses deux *ions* sont séparés : le premier, le chlore, est un *anion* qui se rend à l'anode, et le second, le plomb, est un *cassion* qui se rend à la catode. » On n'a conservé jusqu'ici dans la science que les dénominations d'*électrodes*, qui paraissent convenir à tous les physiciens.

Des décompositions chimiques opérées au moyen de l'électricité libre.

Les effets des décompositions électro-chimiques sont semblables entre eux, quelle que soit la source de l'électricité, pourvu que celle-ci n'éprouve pas d'interruption dans sa production.

L'électricité peut avoir plusieurs origines et provenir du frottement, comme dans les machines électriques ; d'une action chimique, comme dans les piles voltaïques; de différences de température, comme dans les appareils thermo-électriques; enfin d'effets d'induction, comme dans les machines destinées à produire les courants d'induction. L'électricité de frottement a une forte tension et une faible quantité, attendu qu'il faut un temps fini pour la produire. C'est l'inverse pour l'électricité voltaïque. Les deux électricités contraires qui s'accumulent aux deux extrémités d'une pile d'un grand nombre de couples ont une faible tension, quoique considérables en quantité, parce que leur production n'est pas discontinue. L'électricité provenant des appareils thermo-électriques étant à petite tension, en raison de la recomposition à la source de la plus grande partie des électricités dégagées, ne donne seulement que des indices de décomposition, aussi n'est-elle d'aucun usage en électro-chimie. Quant aux appareils d'induction, ils peuvent être employés, mais avec moins d'avantage que les appareils voltaïques, à moins de les faire fonctionner concurremment ensemble, comme l'a reconnu M. de la Rive.

Les effets de décomposition produits au moyen de l'électricité libre, c'est-à-dire, de l'électricité fournie par les machines électriques ordinaires, présentent, dans quelques circonstances, des différences avec ceux obtenus avec les appareils voltaïques ordinaires. Dans ces derniers, lorsque les deux pôles de l'appareil sont en relation avec de l'eau au moyen de deux lames de platine, on sait que cette eau est décomposée; l'oxygène se porte sur la lame positive, et l'hydrogène sur la lame négative : mais il n'en est pas toujours ainsi avec l'électricité libre. Wollaston, pour décomposer l'eau avec cette électricité, a indiqué le procédé suivant : on introduit des fils très-fins d'or ou de platine dans des tubes capillaires de verre, dont les extrémités sont ramollies à la lampe pour que le métal s'applique exactement sur le verre, et l'on coupe la portion du fil en dehors de la partie fondue, de manière à n'apercevoir à la loupe qu'un point métallique. On place deux de ces tubes dans un vase rempli

d'eau, de telle manière que les deux pointes métalliques soient très-rapprochées l'une de l'autre; un des fils est mis en communication avec le sol, et l'autre avec un conducteur métallique placé à peu de distance du conducteur d'une machine électrique dont on tire des étincelles. On aperçoit aussitôt aux deux pointes de métal un dégagement de très-petites bulles de gaz que l'on recueille dans des éprouvettes remplies d'eau; on trouve, lorsque l'électricité a une très-forte tension, que le volume de gaz du côté négatif est double de celui obtenu du côté positif, comme dans les décompositions avec les appareils voltaïques. L'eau a donc été complétement décomposée. Cette décomposition est d'autant plus rapide que la ténuité des pointes est plus grande. Ainsi, il faut suppléer à la discontinuité de l'action par une très-forte tension; quand elle est moindre, les deux gaz se dégagent quelquefois à chaque pointe; dans ce cas, les surfaces décomposantes sont, de chaque côté, l'une la pointe, l'autre le liquide adjacent; alors les deux gaz doivent être mélangés. Wollaston a annoncé qu'il en est toujours ainsi, quelle que soit la tension de l'électricité. Néanmoins, l'exception est assez remarquable pour que nous en fassions mention ici, bien que son assertion ne nous ait pas paru exacte.

Les expériences suivantes de M. Faraday serviront encore à faire connaître le mode d'action chimique de l'électricité des machines sur les corps.

Ayant pris une bande de papier tournesol et une autre de papier curcuma, il les humecta avec une solution de sulfate de soude et les unit par un de leurs bouts. Un fil de platine en relation avec le conducteur communiquait avec le papier tournesol, et un autre fil communiquant au sol et représentant le pôle négatif, avec le papier de curcuma. Quelques tours de la machine suffirent pour montrer sur ces papiers les mêmes effets que ceux obtenus avec l'électricité voltaïque. Les effets furent encore les mêmes en éloignant les deux bandes de papier et les faisant communiquer au moyen d'un fil métallique. La pointe négative de l'appareil, ainsi que le papier de curcuma, ayant été enlevés, la pointe positive fut laissée en contact avec le papier tournesol, et l'on toucha ce dernier avec un conducteur humide que l'on tenait à la main. Le papier tournesol fut encore rougi. Le bout du conducteur humide, au lieu d'être tenu dans la main, fut suspendu dans l'air au moyen d'un tube de verre. Le papier fut encore rougi; mais, dans ce cas, l'air formait le second pôle, c'est-à-dire, la seconde surface décomposante. Ainsi, comme nous al-

lons encore le montrer, et cela est important à noter pour expliquer certains phénomènes électro-chimiques, on peut opérer une décomposition en se servant pour transmettre l'électricité, non-seulement de deux lames de métal ; mais encore d'une lame de métal et d'un liquide, et même de deux liquides. Les conditions à remplir, c'est que les éléments désunis par l'effet du courant rencontrent, pour se séparer, un corps qui ne puisse leur livrer passage. La connaissance de cette propriété est indispensable pour l'interprétation de quelques phénomènes naturels produits dans les trois règnes de la nature. L'expérience suivante va nous en fournir un exemple. On prend un bocal de verre d'un décimètre de diamètre et d'un décimètre environ de profondeur (pl. III, fig. 7); une lame de mica *a*, que l'on fixe à la partie supérieure, de manière à ce qu'elle descende à 27$^{mm.}$ au-dessous du bord, et soit entourée d'eau de tous côtés; une lame de platine, large de 80$^{mm.}$, est placée également dans le vase à peu de distance du mica, et retenue au moyen d'une petite lame de verre, afin de prévenir les mouvements qui pourraient survenir dans le liquide par le dégagement du gaz. On verse ensuite dans le vase, avec soin, une solution de sulfate de magnésie jusqu'au-dessus du petit bord de la lame de mica, en évitant que le verre ou le mica, sur le côté non occupé *c*, soit mouillé par la solution au-dessus de son niveau. Un morceau de liége poli, mouillé préalablement avec de l'eau distillée, est posé légèrement sur la solution du côté sec, et l'on verse doucement dessus de l'eau distillée environ à la hauteur de 27$^{mm.}$, jusqu'à ce qu'elle touche à peu près le sommet du verre. Par ce moyen, la solution de sulfate de soude occupe la partie inférieure du bassin, ainsi que la partie supérieure à droite; mais, en raison du diaphragme, une couche d'eau repose de *c* en *d* sur la solution. Une seconde lame de platine *e* est placée sur la surface de l'eau dans une position horizontale, mais avec une inclinaison suffisante pour que les gaz échappés puissent être recueillis. L'extrémité C est mise en communication avec le pôle négatif d'une pile de 40 paires, et le pôle positif avec l'extrémité *b*. La décomposition commence aussitôt; mais elle est d'abord très-faible, à cause de la mauvaise conductibilité de l'eau; mais, peu à peu, la magnésie apparaît au pôle négatif, non sur la lame de platine, mais sur la surface de contact de l'eau et de la solution de sulfate de magnésie, tandis que la lame ne donne aucune trace de magnésie à l'aide du papier de curcuma. La magnésie est donc restée entière à la surface des deux liquides. La lame *b*, au contraire, donne la réaction acide. Cette ex-

périence montre que la décomposition s'opère aussi bien sur la surface de l'eau, qui est conductrice, que dans l'air, qui ne jouit pas de ces propriétés, et sur les lames de métal, comme l'on a pu s'en convaincre d'après l'expérience que nous avons précédemment rapportée. On peut faire l'expérience avec plus de facilité de la manière suivante, avec un tube en U, dans l'une des branches duquel l'on verse d'abord une solution de sulfate de magnésie, puis dans l'autre seulement de l'eau ; on plonge d'une part dans celle-ci une lame de platine, et dans l'autre branche, qui ne renferme que la solution, une seconde lame de platine. Ces deux lames sont mises en communication avec un appareil voltaïque, comme dans l'expérience précédente. Nous allons montrer de suite l'importance de ce mode de décomposition, pour interpréter certains phénomènes électro-chimiques naturels.

On sait que l'air et la terre se trouvent toujours, dans les temps sereins, dans deux états électriques différents, et qu'il s'opère continuellement entre l'un et l'autre des décharges électriques plus ou moins fortes par l'intermédiaire des montagnes, des arbres, des plantes, des animaux, etc. Par conséquent, tous les corps organisés qui sont à la surface de la terre étant pénétrés de liquide, se trouvent dans la même position que l'air dans une des expériences de M. Faraday, et que l'eau dans les dernières. Ces liquides peuvent donc servir de surface décomposante. Il en résulte une suite de décompositions et de recompositions lentes qui contrarient ou favorisent l'action des forces vitales, suivant le sens dans lequel elle s'exerce.

Des caractères usités en électro-chimie pour constater la production d'actions chimiques.

Quand un solide réagit sur un solide, ou un liquide sur un autre liquide, il y a combinaison ou dissolution ; plusieurs moyens servent à constater l'existence de ces deux actions. Quand il y a combinaison, on observe une élévation de température, et, au contraire, un abaissement quand il y a dissolution.

Les thermomètres ordinaires suffisent pour observer ces changements, quand ils ont une certaine intensité; mais ces derniers sont si faibles dans les actions lentes qu'ils ne peuvent être constatés, et qu'il faut alors avoir recours aux appareils thermo-électriques d'une sensibilité excessive, qui occupent peu de volume, et permettent de recueillir les plus faibles quantités de chaleur dégagée. Il est des

cas où ce moyen ne peut être employé, et dans lesquels la chimie ne saurait intervenir : c'est lorsque les produits formés ne peuvent être recueillis, ou leur présence accusée d'une manière quelconque.

L'électro-chimie nous fournit alors des moyens très-efficaces; le premier, c'est la production du courant électrique à l'instant où deux corps réagissent l'un sur l'autre, ce que l'on reconnaît toujours à l'aide du multiplicateur, quelle que soit la réaction. Le courant peut aussi bien provenir d'une combinaison que d'une dissolution. Il faut avoir un moyen de distinguer l'une de l'autre ; rien n'est plus simple : on se sert, à cet effet, de l'appareil décrit tome V, première partie, pages 243 et suivantes de notre *Traité d'électricité*, lequel permet d'observer simultanément le courant dû à la combinaison, et le courant thermo-électrique provenant de l'élévation ou de l'abaissement de température.

Pour constater les décompositions, c'est-à-dire reconnaître la présence des acides et des alcalis, on se sert, comme en chimie, de papiers à réactifs ou de couleur végétale. Quand on cherche à reconnaître jusqu'à quel point un courant possède assez d'intensité pour opérer une décomposition, on emploie l'iodure de potassium, dont les éléments, réunis en vertu de faibles affinités, sont décomposés sur un faible courant électrique. La présence de l'iode est accusée par l'amidon, qui, mêlé à l'iode, forme de l'iodure d'amidon, dont la couleur bleue est le signe caractéristique. Les couleurs végétales, ainsi que les papiers à réactifs colorants, sont les substances employées par les chimistes pour reconnaître l'existence des acides et des alcalis, en raison des changements qu'elles éprouvent.

Nous allons d'abord montrer que l'électricité libre, en réagissant sur les couleurs rouges, produit des changements qui ne permettent pas d'employer concurremment les papiers à réactifs avec les solutions ordinaires salines, quand on veut reconnaître la décomposition de celles-ci par l'action de l'électricité. L'expérience suivante ne laisse aucun doute à cet égard. On place sur un support isolant une plaque de cristal de roche, sur laquelle on étend une bande de papier tournesol rougi par un acide et légèrement humide ; on applique sur cette bande les bouts fermés de deux tubes préparés à la Wollaston, à une distance de 1 à 2 millimètres. Ces tubes sont maintenus dans une position verticale au moyen de tiges glissantes qui permettent de rapprocher et d'éloigner à volonté les branches verticales (pl. III, fig. 8). L'extrémité non soudée au verre du fil de platine d'un de ces tubes est placée à quelques millimètres de distance du conducteur d'une

machine électrique. L'extrémité libre du fil de platine de l'autre tube est placée de la même manière, par rapport à un conducteur en communication libre avec la terre; aussitôt que l'on met la roue en mouvement, il passe une série d'étincelles entre les deux intervalles compris entre les conducteurs et les fils. Au bout de quelques instants, si on enlève le bout du tube formant le pôle négatif, la partie du papier qui était en contact avec le fil est fortement ramenée au bleu. De l'autre côté, la partie située au-dessous du tube prend une teinte plus rouge, toutes les fois que le papier a été faiblement rougi. Ce résultat montre que, lorsqu'un courant discontinu, produit par de l'électricité libre, réagit sur un papier à réactif humecté avec de l'eau très-pure, on obtient les mêmes réactions que s'il se trouvait dans l'eau des sels éprouvant la décomposition électro-chimique. Soumettons à l'expérience des matières colorantes insolubles dans l'eau, telles que la santaline, etc., et appliquons sur une bande de papier joseph humide deux couches d'alizarine, par exemple, et sur celles-ci, les bouts fermés de chaque tube. Quand la machine a fonctionné pendant quelques instants on enlève les tubes, et l'on reconnaît que le papier, sous la pointe négative, est coloré en bleu, tandis que, sous l'autre pointe, il n'est nullement coloré.

Tous ces faits prouvent bien que les courants électriques discontinus, et nous pouvons même ajouter les courants continus, réagissent de telle manière sur les matières colorantes, que l'on ne doit se servir qu'avec la plus grande circonspection des réactions produites, quand on veut les employer à reconnaître la présence des acides et des alcalis dans les décompositions électro-chimiques.

CHAPITRE III.

Propriétés électro-chimiques des corps simples et composés.

Le but que nous nous proposons est de faire connaître les principaux documents dont on peut avoir besoin pour se livrer avec fruit à l'étude de l'électro-chimie. Voici la marche que nous allons suivre : nous exposerons d'abord les propriétés physiques des corps simples, puis les moyens de les obtenir purs, et, s'ils sont composés, comment on détermine leur composition en employant seulement l'action des forces électriques; enfin, nous ferons connaître l'emploi électro-chimique des principaux corps dans les arts.

Il existe cinquante-quatre corps simples, rangés dans l'ordre suivant, qui est tel que chaque corps joue le rôle d'élément électro-positif par rapport à ceux qui le précèdent, et d'élément électro-négatif relativement à ceux qui le suivent :

Oxygène.	Molybdène.	Or.	Étain.	Aluminium.
Fluor.	Tungstène.	Osmium.	Plomb.	Yttrium.
Chlore.	Bore.	Iridium.	Cadmium.	Glucinium.
Brôme.	Carbone.	Platine.	Cobalt.	Magnésium.
Iode.	Antimoine.	Rhodium.	Nickel.	Calcium.
Soufre.	Tellure.	Palladium.	Fer.	Strontium.
Sélénium.	Tantale.	Mercure.	Zinc.	Barium.
Azote.	Titane.	Argent.	Manganèse.	Lithium.
Phosphore.	Silicium.	Cuivre.	Cérium.	Sodium.
Arsenic.	Hydrogène.	Uranium.	Lantane.	Potassium.
Chrôme.		*Vanadium.*	Dydium.	
		Bismuth.	Thorium.	
			Zirconium.	

Nous suivrons un autre ordre pour l'étude électro-chimique de ces corps et de leurs composés. En premier lieu sera placé l'oxygène, dont l'action est la plus générale ; viendront ensuite les métalloïdes simples et composés, les oxydes et les acides qu'ils forment en se combinant entre eux ; puis les bases salifiables, les composés qui ont l'hydrogène pour radical, les métaux et les sels, et enfin les matières organiques. Cet ordre est précisément le même que celui suivi dans les traités de chimie.

Tous les corps et les composés connus ne seront pas l'objet d'un examen particulier, attendu que la science dont nous exposons les principes généraux n'est pas assez avancée pour qu'on puisse étudier les propriétés électro-chimiques de chacun d'eux.

OXYGÈNE.

Il est un des principes constituants de la plupart des corps inorganisés ainsi que des corps organisés, et ne peut être obtenu qu'à l'état gazeux. Il entre pour un peu plus d'un cinquième dans la composition de l'atmosphère. Voici ses principales propriétés physiques :

Densité d'après Dulong et M. Berzélius.....	1,1062
Indice de réfraction.....	1,000272
Puissance réfractive, ou $n^2 - 1$ d'après Dulong.	0,000544
D'après MM. Biot et Arago.	0,000560

(Corps gazeux qui réfracte le plus la lumière.)

Capacité calorifique, celle de l'air = 1.

A volumes	égaux	.....	0,9765
A poids		.....	0,8848

Poids atomique : 2 H = 1	d'après Berzélius..	8,01
	d'après M. Dumas.	8

L'oxygène est peu soluble dans l'eau, puisque 100 volumes de celle-ci en absorbent en volume 3,5. Cette remarque est utile à consigner ici, en raison des propriétés électro-chimiques qu'acquiert l'eau qui renferme plus ou moins de ce gaz. Examinons d'abord son pouvoir inducteur, c'est-à-dire la faculté qu'il possède, avec les corps mauvais conducteurs, de transmettre l'action par influence. Il résulte des expériences de M. Faraday, que l'induction est la même dans l'oxygène raréfié que dans l'oxygène dense, et que l'on peut admettre en principe que tous les gaz bons isolants possèdent le même pouvoir inducteur.

L'apparence des étincelles électriques varie suivant la nature des gaz. Dans l'oxygène, à des pressions ordinaires, l'aigrette est très-comprimée et d'une couleur blanc foncé. Dans l'oxygène raréfié, la forme et l'apparence sont plus nettes, la couleur est un peu purpurine; mais tous ces caractères sont bien pâles, comparativement à ceux de la lumière électrique dans l'air.

Passons aux moyens électro-chimiques à l'aide desquels on dégage l'oxygène de ses combinaisons.

On sait que lorsque les extrémités libres de deux fils de platine, mis en communication avec les deux pôles d'une pile voltaïque, plongent dans l'eau ordinaire, il se dégage de l'oxygène au pôle positif et de l'hydrogène au pôle négatif, dans les proportions de 1 volume d'oxygène et 2 volumes d'hydrogène. Il suffit d'un des appareils simples précédemment décrits, ou de l'appareil à gaz oxygène, pour décomposer l'eau, et obtenir une assez grande quantité d'oxygène.

Des métalloïdes simples et composés.

On compte douze métalloïdes : l'hydrogène, le bore, le silicium, le carbone, le phosphore, le soufre, le sélénium, le fluor, le chlore, le brôme, l'iode, l'azote. Tous ces corps conduisent mal la chaleur, et, par conséquent, sont mauvais conducteurs de l'électricité, ces deux propriétés étant liées par des rapports intimes. Ils laissent dégager de l'électricité positive dans leur combinaison avec les métaux, de sorte qu'ils se comportent comme des corps électro-négatifs. Ils jouent un

rôle opposé avec l'oxygène, c'est-à-dire qu'ils dégagent en se combinant de l'électricité négative, ce qui annonce un état électro-positif. On considère que l'hydrogène, le silicium, le bore et le carbone font exception dans leurs combinaisons avec quelques métalloïdes.

HYDROGÈNE.

Comme l'oxygène, ce gaz est un des principes constituants de l'eau et de tous les corps combustibles.

Densité, celle de l'air = 1.....de	0,0688 à 0,0689
Indice de réfraction, d'après Dulong...	1,000138
Puissance réfractive, ou $n^2 - 1$, à 0° de température et 0,m 76 de pression, d'après Dulong.....	0,000277
D'après MM. Biot et Arago..	0,000285
Capacité calorifique, celle de l'air étant 1.	
A volumes égaux.....	0,9033
A poids égaux.....	12,3401
Coefficient de dilatation, d'après M. Régnault, de 0° à 100°.....	0,36678
Poids atomique. O = 100.....	6,2398
Poids atomique. 2 H = ...	1

L'étincelle électrique traversant l'hydrogène a une belle couleur cramoisie, qu'on ne saurait attribuer à la faible densité de ce gaz, puisque ce caractère disparaît peu à peu quand on le raréfie. Son pouvoir inducteur est le même que celui des gaz bons isolants. On obtient l'hydrogène au pôle négatif en décomposant de l'eau acidulée avec les appareils voltaïques ordinaires. En employant un appareil simple, on opère comme M. Edmond Becquerel l'a fait sur de l'eau qui renferme en solution du protosulfate de fer, afin d'obtenir ce gaz. L'affinité de l'oxygène de l'eau pour le protoxyde de fer aide à la décomposition électro-chimique; il se forme du persulfate de fer, et l'hydrogène se dégage.

L'hydrogène se combine avec l'oxygène dans l'eudiomètre, au moyen de l'étincelle électrique, quand ils sont mélangés dans le rapport, en volumes, de deux du premier et un du second. A cet effet, on remplit l'appareil de mercure ou d'eau dans la cuve pneumato-chimique, et on y introduit les gaz, après les avoir mesurés très-exactement dans un tube gradué. On fait passer ensuite dans le mélange une étincelle électrique provenant, soit de la décharge d'une bouteille

de Leyde, soit d'un électrophore; il s'opère une détonation par suite de la combinaison des deux gaz et de la formation de la vapeur d'eau, et le mélange disparaît entièrement quand les gaz sont purs. S'il y a dans le mélange un excédant d'hydrogène ou d'oxygène, on le retrouve après la détonation. On en détermine la quantité en le faisant passer dans un tube gradué. Dans l'analyse des gaz au moyen de l'eudiomètre et de l'étincelle électrique, il faut recueillir avec le plus grand soin les résidus gazeux, et au besoin tenir compte de la pression atmosphérique et de la température.

BORE.

Il est le radical de l'acide borique, et se présente sous la forme d'une poudre brunâtre foncée, tirant un peu sur le vert; il est un peu soluble dans l'eau, n'est point conducteur de l'électricité, et est électrique conséquemment par frottement.

Poids atomique, suivant M. Berzélius:	O=100	136,25
	2H= 1	10,91
Suivant M. Dumas		11

Davy a fait quelques tentatives pour obtenir ce corps électro-chimiquement (*Institution royale*, 1818, *Bibliothèque britannique*, I, 39, *Sciences et arts*, pag. 67). Nous ne saurions mieux faire que de rapporter textuellement le récit qu'il en a fait lui-même.

« J'avais remarqué, dit-il, que, dans l'*électrisation* de l'acide boracique humecté, on voyait paraître à la surface négative une matière « combustible de couleur foncée; mais des circonstances indépendantes de ma volonté m'ont empêché de suivre ce fait, qui me « semble cependant annoncer une décomposition. »

Dans un autre mémoire de Davy (*Transact. philosoph.*, 1809, page 37), on trouve encore les passages suivants :

« Dans le cours du printemps et de l'été, je fis plusieurs essais « pour rassembler une certaine quantité de cette substance, et la soumettre à un examen scrupuleux. Lorsque l'acide boracique était exposé entre deux surfaces de platine, recevant toute l'action d'une « batterie de 500 paires, aussitôt, sur la surface négative, il se formait « une matière brun olive qui augmentait graduellement en épaisseur, « et finissait par paraître presque noire. Elle était permanente dans « l'eau, mais soluble avec effervescence dans l'acide nitrique chaud. « Chauffée au rouge sur le platine, elle brûlait lentement en donnant « des fumées blanches qui rougissaient légèrement le papier de tournesol humecté, et laissait une masse noire, qui, lorsqu'elle était

« examinée au microscope, paraissait vitreuse à la surface, et conte-« nait évidemment un acide fixe. »

Ces expériences semblaient montrer clairement la décomposition et la recomposition de l'acide borique; mais comme le bore est un mauvais conducteur, l'action électro-chimique, pour l'obtenir, devait cesser aussitôt que la lame de platine négative en était recouverte d'une couche très-mince.

SILICIUM.

Après l'oxygène, le silicium est le principe le plus abondant des composés qui se trouvent à la surface du globe. Il existe aussi dans le règne organique, mais en petite quantité. Dès que Davy eut trouvé et démontré que les alcalis étaient des oxydes, M. Berzélius fit voir qu'il en était de même de la silice. En effet, il soumit à une température élevée un mélange de silice, de fer et de cuivre, et obtint du silicium et du siliciure de cuivre et de fer.

Le silicium obtenu par ce procédé, quand il est bien lavé et séché, est une poudre d'un brun foncé, assez combustible, ayant une telle ressemblance avec le bore, qu'on ne peut les distinguer qu'en interrogeant leurs caractères chimiques; il ne conduit pas l'électricité, et, comme le soufre, il est probable qu'il est électrique par frottement, faculté qui, jusqu'à présent, n'a pu être déterminée. Il ne peut non plus être fondu. Comme le charbon et le bore, il jouit de la propriété de devenir plus pesant et plus dense à une température élevée; il éprouve même un racornissement. Le changement qu'il subit dans sa constitution par l'effet d'une température élevée est plus marqué que dans le charbon et le bore.

Poids atomique, suivant M. Berzélius: $\begin{cases} O = 100 \ldots\ldots 277,31. \\ 2H = 1 \ldots\ldots 22,22. \end{cases}$

Suivant M. Dumas.....,22.

Les tentatives que fit Davy pour décomposer la silice restèrent sans résultat; mais si, au lieu de ces appareils voltaïques établis à grands frais, et qui n'étaient pas à courant constant, il se fût servi d'appareils simples pouvant fonctionner sans interruption pendant des jours, des mois, et même des années, il eût vu que les plus fortes affinités pouvaient être vaincues sans un déploiement de force aussi considérable; et cela, parce qu'on agirait avec des forces électriques provenant de réactions chimiques, sur des corps à l'état naissant, circonstance très-favorable aux réactions chimiques.

Nous allons maintenant décrire notre procédé, à l'aide duquel on obtient, non-seulement le silicium, mais encore le glucinium, le zirconium, l'yttrium, etc. L'appareil est un tube de verre courbé en U, de 5 millim. de diamètre, d'un décimètre de longueur, au fond duquel on introduit de l'argile humectée par une dissolution légère de sel marin. Dans une des branches on verse une dissolution de sel marin, et dans l'autre la dissolution de silice à décomposer, où vient plonger une lame de platine; une lame de zinc est placée dans la branche contenant l'eau salée; on établit la communication entre les deux lames au moyen d'un fil de platine, en ayant l'attention, toutefois, que le fil de platine ne touche pas la dissolution salée, sans quoi il y aurait perte de courant. On peut encore opérer d'une autre manière: on prend deux tubes de 3 ou 4 millim. de diamètre, et d'un décimètre de hauteur; l'un des bouts est rempli d'argile, humectée d'une solution d'eau salée, d'environ 1 centimètre d'épaisseur; puis on coiffe ce bout avec un linge que l'on fait adhérer à l'extérieur du verre au moyen d'un fil assez fort. Ces tubes passent dans deux ouvertures pratiquées au bouchon qui doit fermer un bocal rempli d'eau salée. Dans un de ces tubes on verse une dissolution saturée de silice en gelée dans l'acide chlorhydrique du commerce, lequel renferme toujours une petite quantité de fer. On verse dans l'autre une solution saturée de sel marin, et, comme dans l'appareil précédent, on plonge dans celle-ci une lame de zinc, et dans l'autre une lame de platine que l'on met en relation avec la première. Il se produit aussitôt un courant électrique, par suite de la réaction de l'eau salée sur le zinc, dont la direction est telle que la lame de platine est l'électrode négative. L'action chimique de ce courant est telle que l'acide chlorhydrique est décomposé; l'hydrogène, se trouvant à l'état naissant sur la lame de platine, aide puissamment à la réduction de la silice; le chlore de l'acide hydrochlorique, en se transportant sur le zinc, augmente l'énergie de l'action chimique, et par suite celle de l'action décomposante du courant : telle est la marche que l'on devra suivre pour la formation des substances minérales ou composés insolubles.

La lame de platine se recouvre peu à peu de lamelles cristallines, ayant un brillant éclat; celles qui se forment en commençant ne sont qu'un alliage de silicium et de fer, provenant de l'acide impur. La petite quantité de fer qui se trouve dans cet acide est nécessaire pour commencer l'action. Tant que ces lamelles cristallisées restent sous l'influence du courant, elles conservent leur éclat; mais, du moment que le courant cesse d'agir, ou qu'elles sont exposées à

l'air, elles se décomposent promptement et se transforment en silice. Il est très-remarquable de voir ces cristaux rester brillants dans l'acide chlorhydrique concentré. Le moyen de les conserver est de les retirer rapidement de l'eau, de les laver, les placer sur une feuille de papier joseph dans une cloche, d'y faire rapidement le vide; on les retire ensuite de la cloche, on les introduit dans un tube de verre dans lequel on a mis quelques fragments de potassium, et l'on ferme aussitôt le tube à la lampe.

M. Golding Bird s'est servi après nous d'un couple à courant constant (pl. III, fig. 9). La solution de silice, dans laquelle se trouve la lame négative, est mise dans un tube de verre fermé en bas par un diaphragme de plâtre, et plongeant dans une faible dissolution d'eau salée, contenue dans un grand vase où se trouve une lame de zinc. La communication est établie entre les deux lames métalliques et l'appareil voltaïque simple, au moyen de fils métalliques; avec cette addition de force, il a dû obtenir les mêmes résultats qu'avec notre appareil. Voici, du reste, de quelle manière M. Golding Bird décrit les effets produits (*Transactions philosophiques*, 1837, pag. 27): « A la solution de silice employée par M. Becquerel, je substituai une solution de fluorure de silicium dans l'alcool, en faisant « passer un courant de gaz fluorique silicé dans de l'alcool rectifié.

« Ayant rempli le plus petit tube de l'appareil décomposant avec « cette solution, et établissant la communication avec la batterie, il « se dégagea des bulles abondantes d'hydrogène sur la surface négative du platine, ce qui continua pendant 8 ou 10 heures. Le platine « parut alors terni, et, au bout de 24 heures, un dépôt abondant de « silicium s'était fixé sur le platine, à la surface duquel il adhérait « fortement.

« Autour du silicium réduit et suspendu dans le liquide était un « nuage dense de silice gélatineuse. En enlevant promptement la « lame de platine, la plongeant dans l'eau, et la pressant entre deux « feuilles de papier joseph, je la desséchai, afin d'enlever la partie « adhérente. Le silicium était presque noir et granulaire; vu sous « une lentille, il présentait une tendance à la forme cristalline; il « n'était pas déposé sur le platine d'une manière confuse et irrégulière, mais en stries longitudinales, qui paraissaient suivre la direction de certaines lignes de petites éminences sur la surface de la « lame de platine, produites probablement par le décapage qui avait « été fait avec du sable fin et un morceau de liége.

« Le silicium ainsi obtenu devient d'un blanc de neige lorsqu'il est

« brûlé à la flamme d'une lampe à alcool, et se détache du platine en « étincelles légères, étant alors changé en acide silicique. Il n'est pas « très-facile de l'oxyder en entier, vu l'incrustation d'acide silicique « sur le silicium, laquelle le garantit de l'influence oxydante de l'air, « même à une température rouge. Une portion du silicium détachée « du platine ne paraît pas soluble dans l'acide hydrochlorique; mais « lorsque le platine lui-même, avec le silicium qui y adhère fortement, « est plongé dans l'acide, il en résulte une action lente; des bulles « d'hydrogène se dégagent de la surface du platine, le silicium dis- « paraît alors très-lentement, la solution étant probablement pro- « duite par la formation d'un simple circuit voltaïque, dont le sili- « cium et le platine forment les deux métaux, et l'acide le fluide « excitant. Lorsqu'une solution aqueuse d'acide fluorique silicé est « substituée au fluorure de silicium, le métalloïde est également ré- « duit, mais plus lentement et en moindre quantité, différence pro- « venant, suivant toute probabilité, de la plus petite quantité de sili- « cium présente dans la dissolution. »

CARBONE.

Le carbone est un des principes les plus abondants des parties solides des corps organisés; à l'état de pureté, il constitue le diamant; jusqu'ici, il n'a pu être obtenu à l'état blanc : cet état ne proviendrait-il pas d'un arrangement moléculaire que nous ne pouvons reproduire, ou d'un principe qui n'a pu être séparé encore du charbon? Le carbone et le diamant ont des propriétés physiques analogues, et d'autres qui sont différentes.

Densité du diamant	3,50 à 3,53.
Idem, du graphite	2,2.
Chaleur spécifique du charbon de bois	0,24150.
— Coke de la houille	0,20171.
— Graphite naturel	0,20187.
— Diamant	0,14687.
Indice de réfraction du diamant, d'après Newton	2,439.
— — Brewster	2,470.
Diamant brun ... idem	2,487.
— — suivant Rochon	2,755.
Plombagine, d'après Wollaston, de	2,04 à 2,44.

Pouvoir réfringent du diamant ou $\frac{n^2-1}{d}=1,4566$ d'après Newton.

Poids atomique, d'après M. Berzélius : $\begin{cases} O = 100 \ldots 76,44. \\ 2H = 1 \ldots 6,13. \end{cases}$

Le diamant et le charbon, hors du contact de l'oxygène, n'éprouvent ni l'un ni l'autre aucun changement à la température la plus élevée que puissent fournir nos fourneaux, ou bien sous l'action des rayons solaires concentrés par une lentille ; en présence de l'oxygène, il y a formation de gaz acide carbonique.

Il existe un grand nombre de variétés de carbone, qui ne possèdent pas toutes, à beaucoup près, les mêmes propriétés électriques sous le rapport de la conductibilité; par exemple, le diamant n'est pas conducteur, tandis que l'anthracite conduit bien.

Pour avoir un charbon qui soit bon conducteur, il faut le faire recuire dans un creuset brasqué, à une température élevée, puis le laisser refroidir lentement : si l'on veut augmenter encore la conductibilité, on le plonge dans un bain de mercure à sa sortie du creuset; le métal, en s'introduisant dans les pores du charbon, lui donne un plus grand pouvoir conducteur. C'est entre deux pointes de charbon ainsi préparé que l'on produit dans le vide les phénomènes si étonnants d'incandescence.

Le charbon ordinaire bien recuit est également employé comme électrode dans les appareils électro-chimiques, et avec d'autant plus d'avantage que l'oxygène ne peut exercer aucune action sur lui.

La houille ne conduit pas l'électricité, en raison des matières bitumineuses qu'elle contient; mais lorsqu'elle est à l'état de coke, c'est-à-dire privée de ces matières par l'action de la chaleur, elle peut être employée comme bon conducteur de l'électricité, et servir avec avantage dans les grandes opérations de décomposition électro-chimique; mais il est un inconvénient que nous devons cependant signaler, et qu'on évitera dans les applications en grand, en traitant préalablement le coke par les acides, puis le lavant fortement après. La houille renferme ordinairement des pyrites que la calcination ne décompose souvent qu'en partie. Si donc on emploie le coke comme électrode négative, l'hydrogène venant aider la décomposition des pyrites qui n'étaient pas décomposées complétement, la quantité de gaz hydrogène sulfuré qui se dégage réagit sur les métaux précipités, et paralyse l'action que l'on se proposait. Dans ces derniers temps, on a fait d'excellentes électrodes en mêlant ensemble de la houille grasse, du coke, les pressant fortement, et exposant le tout à une forte température.

L'anthracite, autre variété de charbon fossile, est assez bon con-

ducteur de l'électricité libre et de l'électricité voltaïque. En général, toutes les fois que le charbon est exempt de matières bitumineuses, il est conducteur.

Parmi les variétés de charbon qui conduisent l'électricité, on peut ranger les dépôts qui se forment dans les appareils pour l'éclairage au gaz. On sait que dans ces appareils une huile empyreumatique retombe du tuyau ascendant de la cornue échauffée, et que les gouttes se carbonisent en tombant les unes sur les autres et forment des masses de charbon dur, gris, plus compacte que le graphite, ayant l'aspect brillant d'un métal et présentant les apparences d'une végétation.

Le charbon bien préparé, avons-nous dit plus haut, est très-bon conducteur de l'électricité; toutefois ce corps fait exception parmi tous les corps conducteurs qui, d'après ce que l'expérience nous a prouvé, sont d'autant meilleurs conducteurs de l'électricité qu'ils sont bons conducteurs de la chaleur; car le charbon qui conduit bien l'électricité est un très-mauvais conducteur de la chaleur. Le charbon de bois acquiert de nouvelles propriétés à des températures élevées; il prend alors de plus en plus l'aspect et le brillant métallique du charbon obtenu des matières organiques. Les morceaux de charbon qui, dans les hauts fourneaux, tombent avec les scories de fusion, et qui ont concouru à la fonte et à la réduction du fer, s'éteignent promptement; mais après leur refroidissement ils sont plus pesants, et conduisent si bien la chaleur qu'on ne peut les toucher impunément, même à une distance assez éloignée du point d'ignition. Ce changement dans la propriété du charbon ne peut provenir que de l'action de la chaleur qui modifie l'état moléculaire, puisque, la densité augmentant, les molécules sont plus rapprochées, et les fluides impondérables éprouvent alors moins de difficultés à franchir les espaces intermoléculaires.

CARBURES D'HYDROGÈNE.

Il y a deux carbures d'hydrogène, le protocarbure ou hydrogène protocarburé (gaz des marais), et le bicarbure ou hydrogène bicarboné.

On évalue la densité du premier à 0,5595, ou deux fois celle de l'hydrogène, plus une fois celle de la vapeur de carbone Suivant M. Henri, l'expérience donne 0,556.

La densité du second, suivant M. Th. de Saussure, est de 0,9852; suivant M. Henri, de 0,967; suivant Thomson, de 0,9745. Le calcul donne 0,9814.

Indice de réfraction du gaz des marais, d'après Dulong	1,000443
Puissance réfractive $(n^2 - 1)$, suivant MM. Biot et Arago	0,000703669
Pouvoir réfringent (celui de l'air = 1), d'après les mêmes	2,09270
Puissance réfractive $(n^2 - 1)$ du gaz hydrogène bicarboné, d'après MM. Biot et Arago	0,000630300
Pouvoir réfringent. idem., idem	1,81860
Poids atomique de l'hydrogène protocarburé, d'après M. Berzélius	O = 100 ... 101,40 2H = 1 ... 8,13
Poids atomique de l'hydrogène bicarboné, d'après M. Berzélius	O = 100 ... 88,92 2H = 1 ... 7,13

On détermine la composition de ces gaz en les mélangeant en quantités convenables avec l'oxygène, et les enflammant dans l'eudiomètre à mercure au moyen de l'étincelle électrique. Pour l'hydrogène proto-carboné, il faut opérer sur un mélange composé d'un volume de ce gaz et de deux volumes un quart au plus de gaz oxygène ; car au delà la combustion n'a plus lieu. On trouve que ce gaz est composé de deux volumes d'hydrogène et d'un volume de vapeur de carbone, condensés en un seul. Pour l'hydrogène bicarboné, il faut opérer avec un volume de ce gaz et cinq volumes d'oxygène. Dans cette expérience, il se forme de l'eau qui se condense, et du gaz acide carbonique qui reste mêlé à l'excès d'oxygène. On trouve que ce gaz est composé de deux volumes de gaz hydrogène bicarboué et de deux volumes de vapeur de carbone condensés en un seul.

PHOSPHORE.

Le phosphore, un des principes constituants des os, possède les propriétés physiques suivantes :

Densité		1,77
Indice de réfraction, d'après	Brewster et Young.	2,125
	Brewster	2,224
	Idem	2,260
Pouvoir réfringent ou $\frac{n^2 - 1}{d}$ (M. Brewster)		2,8857
Chaleur spécifique, d'après M. Régnault, de 10 à 30°		0,1887

Poids atomique, d'après M. Berzélius.	O=100..	196,14
	2H=1..	15,72

Le phosphore, par le refroidissement, présente des effets physiques remarquables. Chauffé de 60 à 70°, si on le refroidit subitement, il devient noir; si le refroidissement est très-lent, il est transparent et incolore; un refroidissement modéré lui donne un aspect corné. Ce corps ne présente ces différents phénomènes qu'autant qu'il a été distillé préalablement plusieurs fois.

Davy a annoncé que lorsque l'on soumet du phosphore fondu à l'action voltaïque, il y avait formation d'hydrogène phosphoré; on en a tiré la conséquence qu'il pourrait bien se faire que le phosphore transparent contînt de l'hydrogène.

Le phosphore se colore en rouge sous l'action des rayons solaires, dans l'air, comme dans l'hydrogène et dans le vide; il se réduit facilement en vapeur.

PHOSPHURES D'HYDROGÈNE.

Il existe deux phosphures d'hydrogène, le protophosphure et le sesquiphosphure, ou hydrogène perphosphoré.

Densité du protophosphure d'hydrogène (M. Dumas)...	1,214
Indice de réfraction (Dulong).....	1,000789
Pouvoir réfringent (Dulong).....	0,9680
Densité de l'hydrogène phosphoré.....	1,761

Quand on fait passer une étincelle électrique dans un mélange d'un volume du premier gaz avec trois ou quatre volumes d'oxygène, il y a aussitôt détonation, puis formation d'eau et d'acide phosphorique. On trouve que ce gaz est formé, en volume, de trois volumes d'hydrogène et un volume de vapeur de phosphore condensés en deux volumes.

Si l'on fait passer une suite d'étincelles électriques dans l'hydrogène perphosphoré, celui-ci finit par se décomposer, le phosphore se dépose sans que le volume change; d'où il faut conclure qu'il se transforme en protophosphure d'hydrogène. Ce gaz renferme un volume et demi d'hydrogène.

SOUFRE.

Ce corps se présente à nous dans la nature tantôt pur, en octaèdres allongés ou en cristaux dont la forme dérive de l'octaèdre; tantôt combiné avec des bases métalliques et constituant alors les sulfures,

ou bien encore avec l'oxygène, en donnant naissance à de l'acide sulfurique qui se combine avec les bases terreuses ou métalliques. Sa présence dans les végétaux, et surtout dans les animaux, est accusée par l'odeur que ces derniers répandent quand ils se trouvent dans un certain état de décomposition.

Densité du soufre pur.....	1,98
Capacité calorifique.....	0,1880
Indice de réfraction (Haüy).....	1,958
Id. (M. Brewster et Young)....	2,008
Id. (Wollaston).....	2,04
Id. natif (M. Brewster).....	2,115
Id. fondu (*Idem*).....	2,148
Pouvoir réfringent $\frac{n^2-1}{d}$ (M. Brewster).....	2,200
Faculté inductive comparée à celle de l'air.....	2,24
Poids atomique (M. Berzélius). $O=100$....	201,17
$2H=1$.....	16,12

Il exhale une odeur particulière par le frottement, en même temps qu'il devient fortement électrique. Sa saveur est sensible et peut être attribuée à sa réaction sur les liquides dont les parois de la bouche sont humectées. Si on le chauffe brusquement, il se brise en éclats, preuve d'un changement dans sa constitution moléculaire; c'est pour le même motif qu'il fait entendre un léger bruissement quand on le tient dans la main pendant quelque temps.

On obtient ordinairement le soufre cristallisé en octaèdres en abandonnant à l'air une solution de cette substance dans le carbure de soufre, ou bien quelquefois par la décomposition lente de l'hydrogène sulfuré et des matières fécales.

Indiquons le procédé électro-chimique à l'aide duquel on obtient des cristaux de soufre, dont les dimensions peuvent croître pour ainsi dire indéfiniment quand l'opération est bien conduite. On prend deux bocaux en verre; dans l'un on verse une solution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une solution alcoolique de sulfocarbonate de potasse; puis on établit la communication entre les deux liquides, d'une part avec un tube de verre recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse, et de l'autre, avec un arc métallique composé de deux lames, l'une de cuivre, l'autre de plomb; la première plongeant dans le sulfate, la seconde dans le sulfocarbonate. Dans cet appareil, le

plomb est le pôle positif, et le courant a assez d'énergie pour décomposer le sulfate de cuivre : le cuivre est réduit; l'oxygène et l'acide sulfurique sont transportés sur le plomb. L'acide, dans son trajet, décompose le nitrate de potasse par suite d'une plus forte affinité pour la potasse que l'acide nitrique. L'acide nitrique et l'oxygène réagissent sur le plomb et le sulfocarbonate de potasse; il se forme alors différents produits dont nous n'avons pas à nous occuper pour l'instant. Nous dirons seulement qu'une partie du soufre est mise à nu et cristallise en octaèdres à base rhomboïdale sur la lame de plomb. Dans une expérience que nous fîmes et qui dura un mois, ces cristaux avaient atteint un millimètre de longueur. On obtient également de jolis cristaux sur des lames de platine, au moyen d'un appareil dont nous donnerons la description, en faisant connaître un procédé pour obtenir cristallisés les sulfates insolubles.

SULFURE DE CARBONE.

Densité.....		1,263
— de sa vapeur.....		2,670
Sa tension à 22°,5 est de.....		0,3184
Indice de réfraction de sa vapeur (Dulong).....		1,001500
— du sulfure de carbone (Brewster).....		1,678
— (Wollaston)....		1,645
Poids atomique d'après M. Berzélius.	O=100	478,77
	2H=1	38,36

Le sulfure de carbone est tellement combustible, que lorsque l'on fait passer une étincelle électrique dans un mélange de sa vapeur et d'oxygène, il y a inflammation subite et détonation très-violente; et crainte d'accident, il faut opérer sur le mercure dans un eudiomètre à parois épaisses, l'eau dissolvant la vapeur. Pour que toute la vapeur du sulfure de carbone soit décomposée, il faut que le mélange, à la pression et à la température ordinaires, soit composé d'un volume de vapeur et d'un volume d'oxygène. On retrouve dans l'eudiomètre du gaz acide sulfureux, du gaz acide carbonique et de l'oxygène en excès.

SÉLÉNIUM.

Ce métalloïde a été découvert en 1817 par M. Berzélius, dans les

sédiments en partie rouges et en partie bruns des chambres de plomb de la fabrique d'acide sulfurique de Fahlun, en Suède. Il n'est point conducteur de la chaleur, et par conséquent de l'électricité.

Densité		4,30 et 4,32
Poids atomique.	O = 100	494,58
	2H = 1	39,58

Si l'on veut faire des expériences dans le but d'obtenir le sélénium au moyen de l'électricité, il faut prendre en considération quelques-unes des circonstances qui accompagnent la décomposition de l'hydroséléniate d'ammoniaque.

D'après M. Berzélius, « il se forme à la surface du liquide une cou-« che métallique mince, dont la partie supérieure est unie et d'un gris « plombeux clair, tandis que la partie inférieure est d'un gris foncé « micacé. L'une et l'autre, examinées à la loupe, présentent une tex-« ture cristalline qui, dans la première, est irrégulière; mais, sur la « face inférieure, on aperçoit assez distinctement des facettes bril-« lantes, carrées et à angles droits, qui ressemblent à des arêtes de « cubes ou de parallélipipèdes. Le sélénium cristallise aussi au sein « même de la liqueur, sur les parois du vase, à mesure que le sel est « décomposé par l'action de l'air, et produit une végétation dendriti-« que de cristaux prismatiques terminés en pointes, dans lesquels on ne « peut cependant point distinguer de formes déterminées. » Les opinions des chimistes sont partagées sur la manière dont s'opère la décomposition de l'hydroséléniate d'ammoniaque. Sans entrer dans aucune discussion à cet égard, nous dirons que, si on la soumet à l'action voltaïque pour avoir le sélénium, on verra de quelle manière l'oxygène et l'hydrogène, à l'état naissant, réagissent dessus, de sorte qu'on pourra savoir quelle est l'influence que l'air exerce sur sa décomposition.

FLUOR.

Il est un des principes constituants du spath-fluor. Un grand nombre de substances minérales en renferment de très-petites quantités, entre autres le mica, l'amphibole, les phosphates, etc. L'émail des dents et les os des animaux en contiennent des traces.

Ses propriétés physiques fondamentales nous sont inconnues.

Poids atomique d'après M. Berzélius.	O = 100	116,90
	2H = 1	9,37

Ce corps n'a pu être isolé jusqu'ici. On le considère comme ayant

les plus fortes affinités. C'est pour ce motif que, si on parvenait à l'obtenir, on ne trouverait aucun vase pour le conserver si ce n'est peut-être le spath-fluor lui-même.

Beaucoup d'essais infructueux furent tentés pour son isolement; nous ne rapporterons que ceux de Davy et les nôtres. Le physicien anglais avait exposé dans un vase de verre du fluorure d'argent à l'action du chlore gazeux; ce dernier se combina avec l'argent, tandis que le fluor expulsé se combina avec le verre, et remplaça l'oxygène de la soude et de la silice. En opérant avec un vase de platine, la surface du vase se couvrit de fluorure de platine. Nous avons employé un autre moyen, mais qui ne nous réussit pas mieux.

Nous plaçâmes dans une cloche une petite spirale en platine, terminée en pointe, dont les deux bouts communiquaient à deux fils de platine d'un plus gros diamètre, passant par deux ouvertures pratiquées aux parois de la cloche, et en relation avec une pile à la Wollaston de douze éléments. La cloche fut placée sur la platine d'une machine pneumatique; quand l'air intérieur eut été desséché par le chlorure de calcium, on fit le vide, et la pile fonctionna. La spirale, dans laquelle de très-petits fragments de fluorure de calcium avaient été placés, entra dans une vive incandescence, qui dura quelques secondes. On fit entrer l'air, et l'on examina le fluorure en grande partie décomposé, puisque des morceaux placés sur du papier de curcuma le rougirent fortement. La surface du fil de platine était recouverte d'une pellicule grisâtre. Nul doute que, dans cette expérience, le fluorure n'ait été décomposé hors de l'influence de l'air ou de l'eau; à moins d'admettre cependant que la petite quantité d'air et d'eau dont on ne peut jamais priver les milieux où se fait le vide ne soit la cause des effets produits; ce qui tendrait à faire admettre cette supposition, c'est que le calcaire s'est changé en chaux.

L'expérience que nous venons de rapporter prouve qu'à une haute température, dans un milieu où il n'y a pas des quantités appréciables d'air et d'eau, le fluorure de calcium est décomposé en présence du platine.

CHLORE.

Le chlore est une des parties constituantes du sel marin, par conséquent il est très-répandu dans la nature. On le trouve en combinaison dans quelques substances minérales, ainsi que dans quelques composés organiques. Il est difficile d'obtenir ce corps à l'état de

gaz, attendu qu'il est soluble dans l'eau, et que le mercure l'absorbe. Ce qu'il y a de mieux pour le recueillir est d'employer des éprouvettes remplies d'une solution saturée de sel marin, laquelle absorbe beaucoup moins de gaz que l'eau pure.

Ce corps a une couleur jaune foncé, qui devient d'autant plus pâle qu'il renferme plus d'air. Son action sur les composés organiques est des plus énergiques, en raison de sa grande affinité pour l'hydrogène.

Densité	suivant M. Berzélius.....	2,47
	suivant M. Thénard.....	2,4216
Indice de réfraction suivant Dulong.....		1,000772
Puissance réfractive ou n^2-1.....		0,001545
Pouvoir réfringent ou $\frac{n^2-1}{d}$ (Dulong).....		0,48133
Poids atomique d'après M. Berzélius.	O=100.....	221,33
	2H=1.....	17,74

Bien que ce corps soit gazeux, on peut l'avoir cependant liquide en le réduisant au quart ou au cinquième de son volume; il forme alors une liqueur jaunâtre très-foncée ou verdâtre qu'on ne peut solidifier, même en abaissant la température au-dessous de zéro. Sa densité est alors de 1,03; il réfracte la lumière moins que l'eau, et peut être distillé sous la pression à laquelle il est soumis à une température de +33°. En diminuant la pression, la liqueur se volatilise en produisant un grand abaissement de température. Si l'on veut obtenir une assez grande quantité de chlore avec un appareil composé de plusieurs éléments, il faut opérer avec de l'acide chlorhydrique concentré, prendre pour électrodes deux lames de platine, et disposer l'appareil de manière à recueillir les gaz : il se dégage à l'électrode positive du chlore, et à l'électrode négative de l'hydrogène. D'après la loi des masses, quand l'acide est très-concentré, l'eau n'est pas sensiblement décomposée.

Voyons ce qui arrive quand on décompose électro-chimiquement l'eau qui renferme du chlore. Les résultats que nous allons faire connaître sont dus à M. Edm. Becquerel. Si l'on verse dans un vase de l'eau tenant en dissolution du chlore, et qu'on y plonge deux électrodes en platine, en relation avec un couple à la Wollaston faiblement chargé, l'eau est décomposée, l'oxygène se dégage au pôle positif, et l'hydrogène, à l'instant où il se dégage sur l'électrode négative, se combine avec le chlore pour former de l'acide chlorhydri-

que ; il y a, en outre, une petite quantité d'oxygène absorbée. Mais si, au lieu d'un seul couple, on en prend un nombre suffisant pour décomposer l'eau acidulée, il se dégage un peu d'hydrogène au pôle négatif. Voyons actuellement ce qui se passe quand on fait passer le courant dans de l'eau chlorée et dans de l'eau acidulée contenue dans un voltaïmètre communiquant ensemble au moyen de lames de platine ; en opérant successivement avec deux, trois couples d'une pile chargée comme à l'ordinaire, M. Edm. Becquerel n'a aperçu aucun dégagement de gaz dans les deux vases. Avec quatre couples, l'eau acidulée et l'eau chlorée furent décomposées. Dans cette dernière, il n'y eut qu'un dégagement d'oxygène. Il en fut de même avec cinq couples. Mais avec six couples, l'hydrogène commença à se dégager dans l'eau chlorée. Voici une expérience faite avec cinq couples :

	Oxygène.	Hydrogène.
Eau chlorée.....	3 vol.	..... 0 vol.
Eau acidulée.....	3,5	..... 7.

Ces résultats donnent le rapport des gaz dégagés dans les deux expériences ; ils montrent dans la première que le chlore, outre qu'il a absorbé tout l'hydrogène, a pris encore un deml-volume d'oxygène.

ACIDE CHLORHYDRIQUE.

Ce corps est ordinairement à l'état de gaz.

Densité.....		1,2476
Indice de réfraction (Dulong).....		1,000449
Pouvoir réfringent (MM. Biot et Arago).....		1,19625
Poids de l'atom. d'après M. Berzélius.	O=100.....	227,57
	2H=1.....	18,23

Quand on fait passer dans le gaz chlorhydrique un courant d'étincelles au moyen de conducteurs en or ou en platine, il se transforme en hydrogène et en chlore. Si l'on fait passer une seule étincelle à travers un mélange de parties égales de chlore et d'hydrogène, le mélange s'enflamme aussitôt, et il en résulte du gaz chlorhydrique. Dès lors ce gaz est composé de parties égales en volume d'hydrogène et de chlore. On obtient en même temps deux volumes de gaz chlorhydrique. Ainsi, la même force qui sépare les éléments sert à les combiner. D'où peut donc provenir cette inversion? elle ne peut dépendre que du pouvoir calorifique des masses de gaz. Si le

mélange de chlore et d'hydrogène s'échauffe par la combinaison des premières molécules, la masse doit détoner rapidement, tandis que dans un mélange de gaz chlorhydrique, de chlore et d'hydrogène, la propriété calorifique n'étant pas assez grande, la recomposition ne peut s'opérer. Le chlore et l'hydrogène, à parties égales, se combinent lentement à la lumière diffuse, et rapidement, avec détonation, à l'action directe du rayon solaire. Il y a également détonation en exposant le mélange à la température rouge.

CHLORURES DE CARBONE.

Protochlorure. Ce composé est un liquide très-limpide, incolore, et non conducteur de l'électricité.

Densité	1,5526
Indice de réfraction	»
Pouvoir réfringent	1,4875

Composition. Un volume de chlore, un volume de carbone.

Poids atomique.	O = 100	519,09
	2 H = 1	41,60

SESQUICHLORURE.

Ce corps est solide et cristallisé. Il est mauvais conducteur de la chaleur.

Densité	2
Indice de réfraction	»
Pouvoir réfringent	1,5767

Composition. Deux volumes de vapeur de carbone et trois volumes de chlore.

Poids atomique d'après M. Berzélius.	O = 100	595,53
	2 H = 1	47,72

Nous ferons une observation générale à l'occasion de ces deux composés. Bien qu'ils ne soient pas conducteurs de l'électricité, néanmoins on peut leur trouver un dissolvant tel que la dissolution puisse donner passage au courant. Dans ce cas, il y a décomposition, production de composés secondaires, dont l'étude n'est pas sans intérêt. L'alcool, l'éther jouissent de cette propriété. Ainsi, toutes les fois qu'une combinaison ne reçoit aucune action directe de l'électricité, il faut toujours voir si l'un de ces deux liquides ou bien un autre ne donnerait pas une solution conductrice de l'électricité.

BRÔME.

Ce corps a été trouvé, par M. Ballard, en très-petite quantité dans l'eau mère des salines de Montpellier, et il est liquide à la température ordinaire; il est d'un rouge brun foncé en masse, mais en couches minces, sa couleur est le rouge hyacinthe; son odeur ressemble à celle du chlore; sa saveur est forte et âcre; de —22° à —25°, il se solidifie, devient dur et cassant, sa cassure est cristalline; il a une couleur gris de plomb, et son éclat est presque métallique. Il entre en ébullition à +47°; ce gaz a l'apparence du gaz nitreux.

Densité		2,966
Densité de sa vapeur déterminée par le calcul		5,3933
Poids atomique	O=100	489,115
	2H=1	39,20

Ce corps est rangé parmi les mauvais conducteurs. Néanmoins, mélangé avec l'eau, le liquide devient conducteur. Nous avons décomposé les brômures alcalins avec l'électricité libre, et en nous servant de papiers à réactifs. Ce corps, en électro-chimie, se comporte en général comme le chlore.

On a vu précédemment que lorsque l'eau tient en dissolution différents corps qui ont de l'affinité pour l'oxygène ou l'hydrogène, peu importe lesquels, ces corps aident à la décomposition électro-chimique de l'eau quand on emploie un seul élément. Cependant cette règle n'est pas sans exception; car, si l'on opère avec des solutions aqueuses de brôme, on trouve qu'il faut ajouter une certaine quantité de sel marin ou d'acide sulfurique à l'eau qui renferme ce corps pour la décomposer. Cette addition a probablement pour but d'augmenter la conductibilité de l'eau.

IODE.

Ce corps, trouvé d'abord dans les eaux mères des soudes de varech, a été reconnu comme faisant partie de diverses plantes marines, entre autres de plusieurs espèces de fucus, de l'éponge, etc. Dans cette dernière il se trouve, du moins en partie, à l'état d'iodure de sodium.

On a constaté aussi son existence dans l'eau de mer, dans le sel gemme; dans le règne animal on l'a trouvé combiné avec l'argent et le zinc.

Digitized by Google

Densité		4,946
Id. de sa vapeur		8,716
Capacité calorifique		0,05412
Poids atomique	O=100	789,75
	2 H=1	63,28

Ce corps a une tendance à prendre la forme cristalline par la voie sèche ou la voie humide ; ses cristaux se présentent sous la forme d'octaèdres allongés à base rhomboïdale. Nous ferons connaître, en traitant des iodures, un procédé pour en obtenir de très-beaux cristaux.

Les composés iodurés sont ceux qui cèdent le plus facilement à l'action des forces électriques. Pour expérimenter, on se sert ordinairement de bandes de papier préparées avec de l'amidon, et humectées d'une solution d'iodure de potassium. Un seul élément suffit pour décomposer l'iodure de potassium, et l'iode, mis à nu, se combine avec l'amidou. Ce que nous avons dit touchant la présence du chlore dans l'eau soumise à l'action décomposante de l'électricité, s'applique à l'iode.

Avec des solutions aqueuses de brôme, il faut ajouter une certaine quantité de sel marin ou d'acide sulfurique, pour le décomposer; avec la solution iodurée, malgré l'addition du sel ou de l'acide, on n'obtient aucune trace de décomposition avec un seul couple voltaïque. Cette différence mérite d'être signalée. Nous avons dit, en exposant la méthode à l'aide de laquelle on peut arriver à mesurer les affinités au moyen des forces électriques, que nous indiquerions un autre procédé dû à M. Edmond Becquerel, qui a cherché à avoir des valeurs approchées des rapports de l'affinité du brôme, du chlore, de l'iode, pour l'hydrogène et l'oxygène : quatre vases renfermant, le premier une solution aqueuse de chlore, le second une solution aqueuse de brôme, le troisième une solution aqueuse d'iode, le quatrième, le voltaïmètre, avec de l'eau acidulée, ont été mis en relation entre eux avec un appareil voltaïque avec des lames de platine. L'appareil était chargé faiblement, afin que les gaz, en se dégageant très-lentement, eussent le temps de réagir à l'état naissant sur les gaz dissous dans l'eau, qui venaient successivement se présenter aux électrodes. Dans une expérience, la pile ayant fonctionné pendant trois heures, il ne fut dégagé dans l'eau acidulée qu'environ un centimètre cube de gaz hydrogène, et un demi-centimètre cube d'oxygène ; la même quantité d'eau, correspondant à ces gaz, a dû être décomposée dans les autres vases. Si donc, l'on retranche le volume des gaz dé-

gagés dans les trois premiers vases, du volume de l'hydrogène et de l'oxygène recueillis dans le quatrième, on a la quantité de gaz absorbée.

	GAZ DÉGAGÉ.		GAZ ABSORBÉ.		Rapport des gaz absorbés aux gaz dégagés dans le voltaïmètre.	
	oyxgène.	hydrogène.	oxygène.	hydrogène.	pour l'oxygène.	pour l'hydrogène.
	vol.					
Eau acidulée..	7,25	14,5	»	»	»	»
Eau chlorurée.	6,25	2	1	12,5	0,138	0,862
Eau bromurée.	4,5	4	2,75	10,5	0,379	0,724
Eau iodurée...	4	11	3,25	3,5	0,448	0,242

Si l'on fait dégager les gaz rapidement, les rapports consignés dans les deux dernières colonnes ne sont plus les mêmes, comme on le voit dans le tableau suivant :

	DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.	
	oxygène.	hydrogène.	oxygène.	hydrogène.
	vol.			
Eau acidulée.....	7,25	14,5	»	»
Eau chlorurée.....	5,5	8,25	1,75	5,25
Eau bromurée.....	5,25	12,5	2	2
Eau iodurée.....	6	13	1,25	1,5

Profitons des résultats consignés dans ces tableaux pour avoir le rapport approché des affinités, en partant du principe que, plus un gaz a de pouvoir absorbant dans un temps donné, plus il a d'affinité pour le gaz qu'il absorbe. Les nombres suivants, qui expriment les rapports de l'absorption au dégagement, peuvent donc représenter approximativement les rapports des affinités.

Gaz.	Hydrogène.
Chlore.....	862
m. Brôme.....	724
Iode.....	242

Pour l'oxygène :

		Oxygène.
	Chlore	138
n.	Brôme	379
	Iode	458

Ces valeurs, toutefois, ne sont exactes qu'autant que tout l'oxygène et tout l'hydrogène dégagés ont été absorbés, et qu'il n'y en a pas eu de dissous dans l'eau.

M. Edmond Becquerel a recommencé les expériences, avec une pile à auges à grands éléments, chargée avec de l'eau pure, en prenant successivement trois ou quatre couples, jusqu'à ce que l'eau fût décomposée dans les quatre vases, sans qu'il y ait immédiatement dégagement sensible d'hydrogène au pôle négatif dans le chlore. Dans ce cas, tout l'hydrogène était absorbé; on a fait fonctionner pour cela vingt-cinq éléments. Après cinq heures d'expérience, on a obtenu les résultats suivants :

		DÉGAGEMENT.		ABSORPTION.		Rapport des gaz absorbés aux gaz dégagés dans le voltaïmètre.	
		oxygène.	hydrogène.	oxygène.	hydrogène.	oxygène.	hydrogène.
Eau	acidulée..	27,5	55	1	»	»	»
	chlorurée.	22	1	5,5	54	0,200	0,982
	bromurée.	17	16,5	10,5	38,5	0,382	0,700
	iodurée...	14	45	13,5	10	0,490	0,182

D'où l'on déduit :

		Hydrogène.
	Chlore	982
m'	Brôme	700
	Iode	182
		Oxygène.
	Chlore	200
n'	Brôme	382
	Iode	492

Les résultats m', n' diffèrent des résultats m, n; d'où il faut conclure que les quantités de gaz absorbées n'entrent pas toutes en combinaison avec le chlore, le brôme ou l'iode; dès lors, une portion

reste en dissolution. Les rapports cherchés doivent être les moyennes des nombres obtenus dans plusieurs expériences.

D'un autre côté, le chlore, le brôme et l'iode se combinent, atome à atome, avec l'hydrogène, sans changer de volume, pour former trois acides hydrogénés ; les moyennes en question donnent donc approximativement les rapports des affinités qui lient un atome de chacun de ces trois corps avec un atome d'hydrogène.

Voici ces moyennes :

	Hydrogène.
Chlore	922
Brôme	712
Iode	212

Quant à l'oxygène, les nombres trouvés n'expriment que les rapports de son affinité pour le chlore, le brôme, l'iode, lorsqu'il se combine de manière à former les acides chlorique, brômique, iodique; combinaisons qui renferment cinq atomes d'oxygène et deux de radical.

	Oxygène.
Chlore	169
Brôme	380
Iode	469

Le procédé que nous venons d'indiquer, pour évaluer par approximation l'affinité de l'hydrogène et de l'oxygène pour le chlore, le brôme et l'iode, peut être employé avec avantage dans différents cas.

AZOTE.

Ce gaz, de même que l'oxygène et l'hydrogène, n'a pu jusqu'ici être obtenu à l'état liquide ; il entre pour un cinquième dans la composition de l'air atmosphérique. On le trouve dans quelques composés minéraux, mais particulièrement dans les corps organisés, et surtout dans les animaux, dont il est un principe constituant.

Densité (celle de l'air = 1)	0,976
Pouvoir réfringent	1,03408
Capacité calorifique (celle de l'air = 1).	
A volumes égaux	1,000
A poids égaux	1,0318

Pouvoir inducteur de même que pour les deux premiers gaz.

(Dans ce gaz, l'étincelle électrique a la même apparence générale

que dans l'air, quoiqu'elle ait une couleur pourprée; elle est accompagnée d'un son très-remarquable.)

Indice de réfraction (Dulong).....	1,000303
Puissance réfractive, ou $n^2 - 1$ à 0 et $0^m,76$.	
Suivant Dulong.....	0,000601
Suivant MM. Biot et Arago.....	0,000590
Pouvoir réfringent (MM. Biot et Arago).	1,03408
Poids atomique..... O=100..	88,52
2H=1...	7,09

Il est fort difficile d'obtenir de l'azote parfaitement pur avec le secours des forces électriques; car toutes les dissolutions qui renferment les composés azotés que l'on soumet à l'action d'un courant donnent en même temps que l'azote de l'hydrogène ou de l'oxygène, selon le rôle qu'il joue dans la combinaison. S'il se comporte comme alcali, il est transporté au pôle négatif, où l'hydrogène se rend également, et il se forme alors de l'ammoniaque. S'il joue le rôle d'acide, il se rend au pôle positif, où se porte l'oxygène, et dans ce cas on a un mélange d'oxygène et d'azote, du gaz nitreux ou de l'acide nitrique, suivant les proportions des gaz.

AIR ATMOSPHÉRIQUE.

L'air doit renfermer tous les corps gazeux à la température ordinaire, et qui n'entrent dans aucune combinaison solide ou liquide. Ces matières gazeuses sont principalement l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique. Un grand nombre de physiciens et de chimistes ont cherché la composition et le rapport de ces gaz. Lavoisier admit 27 à 28 p. d'oxygène; mais presque tous les chimistes ont adopté pour sa composition 21 p. d'oxygène, 79 d'azote, composition qui est celle de l'air recueilli par M. Gay-Lussac dans son ascension aérostatique, à une hauteur de 6900 mètres au-dessus de la terre.

Densité.....	1
Indice de réfraction (0 de temp.; $0^m,76$ de pression), (M. Biot).....	1,000294
Puissance réfractive (MM. Biot et Arago)..	0,000589
Pouvoir réfringent.....	1,0000

Priestley ayant cherché ce qui arrivait en faisant passer pendant longtemps des étincelles électriques à travers une quantité donnée

d'air atmosphérique, a trouvé que le volume d'air diminuait, et que la teinture de tournesol introduite dans le vase devenait rouge. Cavendish a étudié toutes les circonstances de cette expérience, et a trouvé qu'il se formait de l'acide nitrique. Voici de quelle manière on fait cette expérience. On se sert de l'appareil qui est composé d'un tube recourbé en verre de 3 millimètres de diamètre intérieur, rempli de mercure, et dont les deux extrémités plongent dans des vases séparés contenant également du mercure. On introduit de l'air dans la partie supérieure de la courbure, de manière à occuper une étendue de 3 à 4 centimètres. Le mercure de l'un des vases est mis en communication avec le sol, et l'autre avec une boule de métal placée à peu de distance du conducteur d'une machine électrique en action, de sorte qu'un courant d'étincelles traverse la partie de l'air située dans la partie supérieure du tube. A mesure que le volume d'air diminue, on en introduit de nouvelles quantités, de manière que la colonne ait toujours la même longueur. Cavendish a expérimenté avec cet appareil pendant quinze jours, une demi-heure chaque jour. Après avoir analysé la portion d'air dans le tube, il a reconnu que l'oxygène et l'azote s'étaient combinés dans la proportion de sept volumes du premier, et de trois environ du second. Ce résultat l'a mis à même de déterminer assez exactement les proportions de l'acide nitrique. On accélère la formation de cet acide en plaçant dans la partie supérieure du tube une solution de potasse, en raison de l'affinité de l'acide nitrique pour cette base. Nous devons nous arrêter ici, afin de montrer pourquoi la masse entière de l'azote n'entre pas de suite en combinaison, par suite du passage de l'électricité, comme celle d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène. Le gaz azote a besoin, comme tous les autres corps combustibles, d'une certaine température pour brûler; or, sa combinaison avec l'oxygène n'élevant que très-faiblement sa température, et les parties voisines du mélange gazeux qui se combinent lors du passage de l'électricité ne s'échauffant pas, il n'y a que la partie dont la température a été élevée par le trajet de l'étincelle qui puisse brûler. Les expériences dont nous venons de parler nous permettent de concevoir ce qui se passe dans les temps d'orage; lorsque les décharges électriques sillonnent l'air, il y a nécessairement formation d'acide nitrique. M. Liébig, qui a analysé dix-sept échantillons d'eau provenant de pluies orageuses, a reconnu qu'ils renfermaient tous de l'acide nitrique combiné avec la chaux et l'ammoniaque en quantité très-petite. Nous mentionnerons aussi une observation de M. Th. de Saussure, qui n'est pas sans

importance. Il y a toujours dans l'air une petite quantité d'acide carbonique, évaluée à 0,001. D'après ses recherches sur les variations de cet acide, il a reconnu que les variations, par suite des saisons, à la ville ou à la campagne, sont les mêmes; que la quantité d'acide est plus grande le jour dans les villes; l'inverse a lieu la nuit. L'acide est en proportion plus forte sur les montagnes que dans les plaines; le vent augmente la quantité de l'acide en général. De là, M. Théodore de Saussure, en rapprochant ces variations de celles qu'éprouve l'électricité atmosphérique, en a conclu que la quantité d'acide carbonique diminue quand la quantité d'électricité augmente. En effet, on sait que l'électricité est plus forte le jour que la nuit, en hiver qu'en été, dans les plaines que dans les montagnes, par des temps calmes que par des vents violents. Si ce rapprochement tendait à faire supposer que l'électricité atmosphérique intervient dans la production, il faudrait admettre que les poussières innombrables qui flottent sans cesse dans l'air serviraient à opérer des décharges électriques en nombre infini qui décomposeraient l'acide carbonique en oxygène et en oxyde de carbone ; ce qui tendrait à appuyer cette conjecture, c'est que M. Th. de Saussure a trouvé l'oxyde de carbone dans l'air atmosphérique. Les observations précédentes prouvent avec quelles précautions doivent être faites les analyses de l'air, au moyen de l'électricité, quand il s'agit de recueillir des fractions de matières gazeuzes qui ne sont qu'accidentelles.

CYANOGÈNE OU AZOTURE DE CARBONE.

Ce corps se présente sous la forme d'un fluide élastique, permanent et inflammable; soumis à une forte pression en même temps qu'on le refroidit, il se change en un liquide incolore.

Densité		1,8064
Coefficient de dilatation		0,36821
Indice de réfraction (Dulong)		1,000834
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,8021
Puissance réfractive (Biot et Arago)		0,001668
Poids atomique	O = 100	164,96
	2H = 1	13,22

On détermine la composition de ce corps en le faisant détoner dans l'eudiomètre à mercure avec deux fois et demie son volume d'oxygène. On trouve pour un volume de cyanogène, un volume de gaz azoté et

un volume de gaz carbonique. Or, comme deux volumes de gaz carbonique représentent deux volumes de vapeur de carbone, on en conclut que le cyanogène est composé de deux volumes de vapeur de carbone et d'un volume d'azote condensés en un seul.

Le cyanogène se dissout dans l'eau ; or, comme la solution, au bout de quelques jours, se colore successivement en jaune léger et en brun, il n'y a pas lieu de douter, d'après cela, qu'en la soumettant à l'action d'un courant, on n'obtienne différents produits. Cette expérience n'a pas encore été faite.

Oxydes et acides métalloïdiques.

Ces composés, comme leur nom l'indique, résultent de la combinaison de l'oxygène avec les métalloïdes.

EAU.

Densité à $0^m,76$ de pression		1
(Unité de comparaison adoptée.)		
Chaleur spécifique		1,0080
— de la vapeur d'eau.	à volumes égaux	1,9600
	à poids égaux	3,1360
Indice de réfraction (Newton, Wollaston, Brewster).		1,336
Pouvoir réfringent de l'eau de pluie (Newton)		0,7845
Poids atomique	O = 100	112,48
	2 H = 1	9,01

L'eau, comme tous les liquides, est compressible. Sous une pression égale à celle de l'atmosphère, elle diminue de 0,000044 à 0,000048 de volume suivant Canton et Perkins; 0,000045 d'après M. OErsted. Comprimée très-vivement, elle fait jaillir une vive lumière.

Elle se gazéifie à 100°, sous la pression de $0^m,76$, et augmente alors de 1700 fois de volume.

En se refroidissant, elle se condense de plus en plus jusqu'à +4°, où elle acquiert son maximum de densité, puis elle se dilate jusqu'au terme de congélation. Selon Mairan, l'eau à zéro augmente de $\frac{1}{14}$ de son volume en se congelant ; cet effet tient à un arrangement particulier des molécules.

Les substances qu'elle tient en dissolution influent sur le point d'ébullition. Les pointes ou saillies qui se trouvent dans les vases où l'on fait l'ébullition favorisent l'ébullition. On peut faire descendre la

température de l'eau jusqu'à —12°, quand elle n'est pas aérée, sans qu'elle se congèle; mais, pour peu qu'on imprime un mouvement de vibration au vase et par suite à l'eau, la congélation s'opère aussitôt. On opère la composition et la décomposition de l'eau au moyen de l'électricité. Parlons d'abord de la composition.

On a vu précédemment que si l'on faisait détoner, dans un eudiomètre, deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxygène, il se formait de l'eau; mais on n'obtient qu'une quantité d'eau très-petite; si l'on veut s'en procurer une plus grande quantité, on se sert de l'appareil que présente la figure 9, planche X, dont voici la description, telle que la donne M. Thénard, *Traité de chimie*, t. Ier, p. 257, sixième édition :

B, ballon de verre de 10 à 12 litres.

m,*m'*, tige de cuivre recourbée inférieurement, terminée par une petite boule de cuivre *m'*, et destinée à faire passer des étincelles électriques de *m'* en *f*.

CAC, gazomètre destiné à mesurer la quantité de gaz oxygène que l'on introduit dans le ballon, et composé des pièces suivantes :

L, grande cloche graduée de verre, mobile et soutenue par le contre-poids *k* au moyen d'une corde passant sur les poulies *ii*.

E, cylindre intérieur de fer verni, arrondi supérieurement, et fermé de tous côtés.

C,C, cylindre extérieur, séparé du cylindre E par un intervalle *gg* d'environ 12 centimètres, que l'on remplit d'eau pour faire l'expérience.

g', *g'*, fond de la cavité circulaire *gg*.

a,*a*, rebord du cylindre extérieur servant à recevoir l'eau dont le niveau s'élève à mesure que la cloche L descend entre les deux cylindres.

y, robinet placé immédiatement au-dessous du fond *g'g'*, et servant à vider l'eau contenue dans la cavité circulaire *gg*.

y', tuyau horizontal muni d'un robinet, et servant à introduire le gaz oxygène dans la cloche L, au moyen du tuyau vertical *tt*, avec lequel il communique.

y'', autre tuyau horizontal muni d'un robinet, et s'adaptant d'une part au tuyau vertical *tt*, et de l'autre au tuyau SS' qui se rend dans le conduit *d'd'*.

PP, montant de cuivre fixé au cylindre extérieur par les vis *nn*, et servant de support aux poulies *ii*.

ZZ, vis destinées à mettre l'instrument de niveau.

C′,A′,C′, gazomètre semblable en tout au gazomètre CAC, destiné à conduire le gaz hydrogène, et communiquant avec le ballon B par le conduit x''TT.

Pour faire fonctionner cet appareil, la cloche L est remplie de gaz oxygène, en adaptant le tube d'une cornue dans laquelle on dégage ce gaz au moyen du tuyau y'; le robinet y'' reste fermé. Dans le bassin k, on met des poids pour élever la cloche à mesure qu'elle se remplit de gaz pour que la pression soit égale à celle de l'atmosphère. La cloche L′ est ensuite remplie de gaz hydrogène, et l'on fait le vide dans le ballon B. On ferme les robinets e' et y', et l'on ouvre peu à peu les robinets e et y''. Le gaz de la cloche L passe aussitôt dans le ballon et le remplit. La cloche s'abaisse peu à peu, et on la remplit de nouveau. On ouvre les robinets y'' et e, et l'on fait passer des étincelles sans interruption de m en f, au moyen de la tige mm' en communication avec une machine électrique. On ferme le robinet x', et l'on ouvre les robinets x'' et e', et l'on presse assez fortement avec les mains sur la cloche L′. Le gaz hydrogène se rend dans le ballon par l'extrémité f du tuyau dd, et s'enflamme par l'effet de l'étincelle électrique. On cesse de faire passer des étincelles, et l'on diminue la pression jusqu'à ce qu'elle ne soit plus égale qu'à 3 ou 4 centimètres d'eau. On en exerce une en même temps sur le gaz oxygène de la cloche L, laquelle pression ne doit être que de 7 à 8 millimètres. On obtient ces pressions constantes en enlevant des poids des bassins kk', et on les mesure par l'ascension de l'eau dans les branches $v'v'$ des tubes $vv'vv'$; la combustion de l'hydrogène s'opère ainsi sans interruption, et l'eau se condense dans le ballon. On doit opérer ordinairement avec de l'oxygène et de l'hydrogène très-secs, ce qui s'obtient en les faisant passer dans des tubes contenant du chlorure de calcium. En se reportant à la décomposition de l'eau dont il a déjà été question et dans laquelle on obtient un volume d'oxygène pour deux volumes d'hydrogène, on en conclut des deux expériences de synthèse et d'analyse, que l'eau est composée d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène.

L'eau chimiquement pure n'est pas décomposée, et cela par la raison qu'elle conduit très-mal l'électricité, comme Davy l'a prouvé en opérant sur de l'eau distillée dans un alambic d'argent, et la plaçant dans des vases de platine, d'or et d'agate; mais il n'en était pas de même toutes les fois que l'eau qui avait été distillée renfermait des matières organiques ou azotées, il obtenait alors de l'ammoniaque au pôle négatif et de l'acide nitrique au pôle positif, par suite de

la réaction des éléments de l'eau sur les principes constituants de ces matières.

ACIDE BORIQUE.

Densité (fondu)		1,83
— (cristallisé)		1,48
Chaleur spécifique		0,23743
Poids atomique.	O = 100	436,20
	2 H = 1	34,95

On a essayé de décomposer l'acide borique électro-chimiquement; pour atteindre ce but, Davy a opéré de la manière suivante :

La surface de l'acide borique vitreux humectée fut mise en contact avec les pôles d'une pile très-forte; il se manifesta à l'extrémité du fil négatif une petite tache brune que le physicien anglais considéra comme du bore, dont il ne put obtenir que des traces, quelque puissante que fût la pile. La décomposition sans aucun doute ne peut être continuée qu'en raison de la mauvaise conductibilité du bore.

ACIDE SILICIQUE OU SILICE.

Ce corps est très-abondant dans la nature; on le trouve tantôt pur, tantôt combiné avec diverses substances; il se montre à nous dans le cristal de roche en prismes à six pans réguliers terminés par des pyramides à six faces; en grains roulés comme le sable; à l'état compacte, comme l'agate, la cornaline, etc.; à l'état mamelonné ou combiné avec l'eau, comme dans l'opale, etc.

Densité		2,66
Chaleur spécifique (M. Regnault)		0,19132
Poids atomique.	O = 100	577,31
	2 H = 1	46,26
Cristal de roche.	Indice de réfraction d'après Wollaston	1,547
Améthyste.	Id.	1,562
Cristal de roche.	Pouvoir réfringent d'après Newton	0,5450
	Brewster	0,6536

La silice s'obtient cristallisée au moyen de couples nombreux et faiblement chargés. M. Cross a soumis à l'action d'une batterie de 160 couples de 5 à 7 centimètres de côté, une solution de silicate de

potasse, en ayant pour diaphragme un morceau de brique poreuse. Au bout de trois semaines, quinze à seize cristaux hexaèdres parurent sur le fil positif qui s'était encroûté de matières siliceuses. Dans une autre expérience, un morceau de schiste argileux ayant été suspendu par des fils de platine dans une solution de silicate de potasse, il se déposa autour du fil positif des masses hexaédriques de silice gélatineuse qui disparurent et firent place à de la calcédoine à l'extrémité du schiste argileux. Avec l'acide fluo-silicique, il obtint un cristal de quartz en prisme hexaèdre qui rayait le verre.

OXYDE DE CARBONE.

Il ne peut être obtenu qu'à l'état gazeux ; il est invisible et insipide.

Densité		0,96783
Chaleur spécifique.	à volumes égaux	1,0340
	à poids égaux	1,0805

(La chaleur spécifique de l'air prise pour unité.)

Indice de réfraction (Dulong)		1,000340
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,5387
Poids atomique.	O = 100	176,44
	2H = 1	14,14

Le gaz oxyde de carbone n'est décomposé ni à une haute chaleur, ni par l'électricité.

On détermine la composition de l'oxyde de carbone en faisant détoner dans l'eudiomètre à mercure par l'étincelle électrique un mélange de cent parties de ce gaz et de cent parties d'oxygène ; on trouve un résidu égal à cent cinquante parties. Si on le fait passer dans un tube gradué avec un peu d'eau pour absorber le gaz acide carbonique formé, il ne restera plus que cinquante parties d'oxygène. De là on conclut qu'un volume de gaz oxyde de carbone est composé d'un volume de vapeur de carbone et d'un demi-volume d'oxygène, puisqu'un volume de gaz acide carbonique est formé d'un volume de vapeur et d'un demi-volume d'oxygène.

La détonation dans l'eudiomètre est si violente qu'il faut se mettre en garde contre le danger qui pourrait résulter de la fracture de l'appareil.

ACIDE CARBONIQUE.

Cet acide s'obtient toujours à l'état de gaz incolore. On le liquéfie à la température ordinaire, sous une pression de trente atmosphères.

Il en est encore de même quand on abaisse sa température jusqu'à —20°, et qu'on le soumet à une forte pression.

Densité		1,5245
Chaleur spécifique.	à volumes égaux	1,2583
	à poids égaux	0,8280
Coefficient de dilatation		0,36896
Indice de réfraction (Dulong)		1,000449
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,45372
Puissance réfractive		0,000899
Poids atomique.	O=100	276,44
	2H=1	22,15

Quand on soumet le gaz acide carbonique à l'action d'une série d'étincelles électriques, il se change en oxygène et en gaz oxyde de carbone. On trouve que cet acide est composé d'un volume de vapeur de carbone et un volume d'oxygène, condensés en un seul. Si l'on introduit dans l'eudiomètre un volume de gaz explosif et deux volumes de gaz acide carbonique, il y a détonation; celle-ci n'a pas lieu avec trois volumes de gaz acide carbonique.

ACIDE CHLORO-CARBONIQUE.

Ce corps s'obtient à l'état de gaz incolore.

Densité		3,399
Indice de réfraction (Dulong)		1,001159
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,5188
Puissance réfractive		0,002318
Poids atomique.	O=100	619,16
	2H=1	149,59

Ce gaz, mélangé avec l'oxygène dans l'eudiomètre, n'éprouve aucune action de la part de l'étincelle électrique; mais comme l'eau peut le décomposer même à la température ordinaire, on peut en conclure qu'en faisant passer une étincelle électrique à travers un mélange de ce gaz et d'une certaine quantité d'hydrogène et d'oxygène, il y aurait détonation et production d'acide chlorhydrique et de gaz acide carbonique.

ACIDE PHOSPHORIQUE.

Peu abondant dans la nature, si ce n'est dans les os des animaux, où il se trouve combiné avec la chaux, il se présente dans des circonstances très-différentes avec des propriétés qui ne permettent plus de

le considérer comme le même corps, sans qu'il ait éprouvé pour cela de changement dans sa composition. Dans ce cas, il se forme des composés isomériques.

Densité		Inconnue.
Indice de réfraction de l'acide liquide (M. Brewster)		1,426
Poids atomique.	O = 100	892,28
	2H = 1	71,50

L'acide vitrifié et légèrement humecté avec de l'eau, soumis à l'action voltaïque avec deux fils de platine, donne de l'oxygène au pôle positif, et du phosphore au pôle négatif.

OXACIDES DU SOUFRE.

ACIDE SULFUREUX.

Cet acide est gazeux et invisible. L'eau en absorbe trente fois son volume à la température de 20° et à la pression de $0^m,76$; il constitue alors l'acide sulfureux liquide. L'acide gazeux se liquéfie à 20°, ou à une pression de trois à cinq atmosphères et abaissant la température. Voici ses principales propriétés physiques :

Densité		2,234
Indice de réfraction (Dulong)		1,000665
Indice de l'acide sulfureux liquéfié par pression		1,336
Pouvoir réfringent à l'état de gaz (Dulong).		0,3829
Coefficient de dilatation		0,36696
A l'état gazeux, poids atomique.	O = 100	401,16
	2H = 1	32,15

Il ne se combine avec l'oxygène pur à aucune température; mais s'il rencontre ce gaz à l'état naissant, il peut se transformer en un des composés ci-après; c'est par ce motif que, lorsque l'on décompose électro-chimiquement de l'acide sulfureux dans un tube en U, l'oxygène et l'hydrogène à l'état naissant peuvent, en réagissant sur lui, donner naissance à ces composés.

Si dans un eudiomètre on introduit un mélange d'un volume de gaz explosif et d'un volume de gaz acide sulfureux, il y a détonation et formation d'acide sulfurique; avec deux mélanges d'acide sulfureux, il n'y a pas détonation.

ACIDE SULFURIQUE.

Cet acide est anhydre ou hydraté, c'est-à-dire, combiné avec une certaine quantité d'eau. Dans les deux cas, ses propriétés électriques sont différentes. Dans le premier cas, il est solide, blanc et opaque. Au-dessous de 250°, il se fond à cette température même. Voici alors ses propriétés physiques :

Densité		1,57
Indice de réfraction		?
Pouvoir réfringent		?
Poids atomique.	O = 100	501,16
	2 H = 1	40,16

Cet acide n'est point conducteur de l'électricité : dès lors nous ne devons pas nous en occuper ; mais il n'en est pas de même de l'acide sulfurique hydraté, qui joue un grand rôle en électro-chimie comme agent producteur. Ce dernier, qui est liquide, blanc, inodore et visqueux, possède les propriétés physiques suivantes :

Densité à 20°	1,842
Indice de réfraction (Newton)	1,429
— — (Herschel)	1,430
— — (Wollaston)	1,435
— — (Brewster)	1,440

Cet acide est d'autant meilleur conducteur qu'il renferme plus d'eau ; quand la quantité en est considérable, l'eau seule est décomposée. Ce n'est pas le seul exemple que l'électro-chimie nous présente de deux substances qui, prises isolément, ne sont pas conductrices de l'électricité, et dont le mélange devient bon conducteur de cet agent. En effet, l'eau n'est pas conductrice, ni l'acide anhydre, et cependant leur mélange produit un liquide excellent conducteur. Comment expliquer ce changement dans les propriétés conductrices ? Il ne peut être attribué qu'à un arrangement moléculaire du mélange, arrangement qui résulte de la combinaison de l'eau avec l'acide, combinaison qui est rendue sensible par le dégagement de chaleur dont le mélange est toujours accompagné. Cet acide concentré, soumis à l'action d'un courant énergique au moyen de lames de platine, donne un dépôt de soufre à l'électrode négative, tandis que l'électrode positive se colore en brun, indice de la production de sulfate de platine, résultat de la combinaison de l'oxygène provenant de la désoxygénation du soufre et de l'acide sulfurique ambiant avec le platine.

Cet acide, dans les décompositions électro-chimiques, jouit de la propriété de chasser tous les autres acides qui se rendent au pôle positif, quand lui-même se trouve transporté; mais pour cela, il faut que l'intensité du courant ne soit pas assez forte pour vaincre l'affinité de toutes les substances soumises à la décomposition.

OXACIDES D'AZOTE.

PROTOXYDE D'AZOTE.

Ce corps est gazeux, sans couleur et sans odeur.

Densité		1,527
Celle de l'air étant 1.		
Chaleur spécifique.	à volumes égaux	1,3503
	à poids égaux	0,8878
Coefficient de dilatation		0,36763
Indice de réfraction (Dulong)		1,000503
Puissance réfractive		0,001007
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,5078
Poids atomique.	O = 100	277,04
	2 H = 1	22,20

Ce gaz est décomposé par la chaleur en acide hypoazotique et en azote; il est probable qu'en le faisant traverser par des étincelles électriques, on parviendrait à le décomposer de la même manière.

On détermine la composition du protoxyde en faisant détoner dans l'eudiomètre à mercure, au moyen de l'étincelle électrique, un volume de protoxyde d'azote et deux volumes d'hydrogène. On obtient un résidu gazeux composé d'un volume d'hydrogène et d'un volume d'azote. Il est donc disparu un volume d'hydrogène correspondant à un demi-volume d'oxygène, d'où résulte que le protoxyde d'azote est formé d'un demi-volume d'oxygène et d'un volume d'azote condensés en un seul.

BIOXYDE D'AZOTE OU GAZ NITREUX.

Ce corps est toujours à l'état de gaz et incolore.

Densité		1,0390
Indice de réfraction (Dulong)		1,000303
Pouvoir réfringent (Dulong)		0,44911
Puissance réfractive		0,000606
Poids atomique.	O = 100	188,52
	2 H = 1	15,11

Ce gaz est décomposé par la chaleur et les étincelles électriques, de même que le protoxyde d'azote. Il se transforme en azote et en acide nitrique; mêlé à l'hydrogène et exposé à l'action du platine en éponge nouvellement calciné, il se transforme peu à peu en eau et en ammoniaque. Cinq parties mélangées à quatre parties d'ammoniaque gazeuse sont enflammées avec détonation dans l'eudiomètre par l'étincelle électrique. On trouve que ce corps est composé de parties égales en volume d'oxygène et d'azote.

ACIDE AZOTIQUE (*acide nitrique*).

Densité (Kirvan).....	1,554
— (Gay-Lussac) à 18°.....	1,510
— (Berzélius).....	1,513
Indice de réfraction (densité 1,48, d'après Brewster et Young).....	1,410
— (Wollaston).....	1,410
Pouvoir réfringent (Brewster).....	6,676
Poids atomique. { O = 100.....	677,04
Poids atomique. { 2H = 1.....	54,25

L'acide azotique est un des corps qui se décomposent le plus aisément sous l'influence des forces électriques; c'est pour ce motif qu'il est fréquemment employé en électro-chimie. La lumière le transforme en gaz oxygène qui se dégage, et en acide hypoazotique qui reste dissous en partie dans l'acide et le colore en brun. L'appareil à gaz oxygène, dont les effets sont si remarquables, ne doit ses propriétés qu'à la facilité de décomposition de l'acide nitrique; car en substituant à ce dernier un acide doué de plus fortes affinités, on n'obtient pas, à beaucoup près, les mêmes résultats; on l'emploie pour faire fonctionner avec plus d'énergie les appareils voltaïques ordinaires, à cause de son grand pouvoir conducteur et de la propriété dont on vient de parler. Cavendish a déterminé les proportions de cet acide par la propriété que possède un mélange d'oxygène et d'azote de se transformer en acide azotique, en faisant traverser le mélange par une série d'étincelles électriques. Effectivement, ayant introduit sept volumes d'oxygène, trois volumes d'azote, dans un tube recourbé, rempli en partie de mercure, et dont les extrémités plongeaient dans un bain de ce métal, au bout d'un certain temps, tout le mélange était disparu. Cavendish en conclut que telle était la composition de l'acide azotique; mais depuis on a reconnu que deux volumes d'azote et cinq d'oxygène formaient l'acide azotique.

ACIDES MÉTALLOIDIQUES.

Ces acides sont formés chacun de deux métalloïdes, dont l'un, électro-négatif, remplace l'oxygène, et l'autre, électro-positif, se comporte comme base.

ACIDE SULFHYDRIQUE.

Il est gazeux, sans couleur, et suffisamment caractérisé par l'odeur qu'il répand.

Densité	1,1912
Indice de réfraction (Dulong) (à l'état gazeux)	1,000644
Le même, liquéfié par la pression	supérieur à celui de l'eau.
Pouvoir réfringent (Dulong)	0,8419
Poids atomique. O = 100	213,65
Poids atomique. 2 H = 1	17,12

Un mélange d'acide sulfhydrique et d'oxygène, dans des proportions convenables, donne, dans l'eudiomètre, de l'eau et de l'acide sulfureux; un volume de gaz explosif et un quart de volume de gaz sulfhydrique détone; ce qui n'a pas lieu avec un demi-volume de ce dernier : il est en partie décomposé par l'action de la chaleur; le soufre est mis à nu; l'hydrogène se sépare. On arriverait aux mêmes résultats en faisant traverser ce gaz par des étincelles électriques.

BASES SALIFIABLES MÉTALLOIDIQUES.

AMMONIAQUE, ou *azoture d'hydrogène*.

Ce corps s'obtient à l'état de gaz très-âcre, et agit sur l'odorat d'une manière caractéristique.

Densité	0,191
Indice de réfraction. à l'état gazeux (Dulong)	1,000385
Indice de réfraction. liquéfié par la pression	Supérieur à celui de l'eau et de tous les autres gaz liquéfiés.
Pouvoir réfringent à l'état gazeux	1,6851
Puissance réfractive	0,000771
Poids atomique. O = 100	107,24
Poids atomique. 2 H = 1	8,59

Le gaz ammoniac est décomposé en y faisant passer une série d'étincelles. Si l'on opère sur cent parties, on le décompose entièrement, et l'on obtient cent cinquante parties d'hydrogène et cinquante parties de gaz azote, représentant exactement le poids de cent parties de gaz ammoniac; d'où il suit que l'hydrogène et l'azote sont condensés de la moitié de leur volume. On opère de la manière suivante (pl. X, fig. 10). Le tube, bien sec, est rempli de mercure soumis à l'ébullition pour chasser les moindres traces d'eau; on y fait passer une quantité déterminée de gaz ammoniac, puis on introduit le conducteur *c c*, de telle sorte qu'il y ait une distance sensible entre la boule qui le termine et le bouton de l'instrument; le conducteur d'une machine électrique *b*, transmet les étincelles au gaz jusqu'à ce que son volume soit doublé; sur un centilitre, l'expérience dure six ou huit heures. Le gaz augmente d'abord rapidement de volume; l'action se ralentit et devient ensuite presque insensible; cet effet est dû à ce que les molécules des gaz qui se trouvent sur le passage de l'étincelle sont seules décomposées. L'analyse des deux gaz provenant de la décomposition du gaz ammoniac se fait comme il a été dit précédemment. Le gaz ammoniac est décomposé avec détonation, en faisant passer une étincelle électrique dans l'eudiomètre qui contient un mélange d'ammoniaque et d'oxygène, il y a formation d'eau, à l'exception d'une petite quantité d'oxygène et d'azote qui se change en acide azotique. Si l'on opère sur un mélange d'un volume de gaz explosif et un mélange d'ammoniaque, il n'y a pas détonation; celle-ci n'a lieu qu'avec un demi-volume de gaz ammoniac.

On n'emploie ordinairement le gaz ammoniac que dissous dans l'eau. La densité de la dissolution varie suivant la quantité de gaz qu'elle renferme. Ainsi, sa densité est de 0,8750 quand elle est composée de 67,50 d'eau et 32,50 de gaz, et de 0,9692 quand il y a 90,50 d'eau et 9,50 de gaz.

Il est important de bien faire connaître les oxydes métalliques qui sont solubles dans l'ammoniaque liquide, attendu que les dissolutions qui en résultent sont d'un usage fréquent en électro-chimie, pour la formation de certains composés dont nous aurons l'occasion d'entretenir le lecteur. On compte treize oxydes solubles, surtout à l'état d'hydrate, dans l'ammoniaque liquide, savoir : l'oxyde de zinc, l'oxyde de cadmium, le protoxyde et le bioxyde de cuivre, et l'oxyde d'argent qui sont très-solubles, l'oxyde de tellure, les protoxydes de nickel, de cobalt et de fer, le bioxyde d'étain, le bioxyde de mercure, le tritoxyde d'or et le bioxyde de platine.

Formation spontanée de l'ammoniaque.

Nous avons à nous occuper de la manière dont les forces physiques interviennent avec les forces chimiques pour élaborer les substances azotées qui doivent servir à la nourriture des plantes. On peut poser en principe qu'il y a formation d'ammoniaque toutes les fois que l'eau est décomposée en présence de l'air, et qu'il se trouve des corps capables de former des couples voltaïques. Examinons ici les diverses circonstances où s'opère la production de l'ammoniaque dans les actions lentes.

Lorsque l'on soumet de l'eau distillée à l'action d'une pile, même de peu d'éléments, l'ammoniaque se forme au côté négatif, par suite de la combinaison de l'hydrogène de l'eau avec l'azote de l'air et des matières organiques qui se trouvent dans l'eau ; du côté positif, il y a production d'acide nitrique, en raison de la réaction de l'oxygène sur l'azote. Dans les appareils électro-chimiques simples, il y a presque toujours formation d'ammoniaque, toutes les fois que l'on opère sur des matières azotées, et dans des circonstances où l'on était loin de la soupçonner. Nous allons rapporter quelques faits que l'on doit prendre en considération en électro-chimie. M. Faraday a montré qu'avec une lame de zinc bien nette mise dans un tube avec un fragment de potasse chauffé au point de fusion de l'alcali, il y a production d'ammoniaque due à la matière organique contenue dans la potasse. On a les mêmes effets avec du sable que l'on a tenu longtemps à la main, ainsi qu'avec les bases terreuses, pourvu qu'on emploie un métal oxydable ; car le platine, l'or et l'argent sont sans effet : l'eau a donc été décomposée dans la réaction. Toutefois, il faut que les bases soient exposées à l'air pendant quelques instants ou touchées avec la main, sans quoi les effets sont nuls. Pour concevoir ce qui se passe dans cette circonstance, il faut admettre que la potasse et le zinc forment un couple voltaïque et que l'eau soit décomposée, que l'oxygène se porte sur le zinc, l'hydrogène sur la potasse, et par suite sur l'azote à l'état naissant qui provient de la matière organique décomposée par la potasse, ce qui donne lieu à la formation de l'ammoniaque. Avec le sable, il y également couple voltaïque par suite du contact du fer et de son oxyde.

La rouille qui se forme sur le fer dans les maisons habitées renferme de l'ammoniaque dont la formation est due à une cause semblable. Vauquelin s'est assuré de ce fait en faisant chauffer la pièce d'essai dans un tube de verre avec une bande humide de papier tournesol

rougi par un acide. Rien n'est plus facile que de rendre compte de cette formation. Dès l'instant que le fer commence à s'oxyder, l'oxyde formé et le métal, avec l'humidité qui adhère à l'un et à l'autre, constituent un couple capable de décomposer l'eau ; l'oxygène se porte sur le métal et l'oxyde ; l'hydrogène se rend sur l'oxyde et réagit sur les matières organiques absorbées, d'où résulte de l'ammoniaque. Il peut même se former de l'ammoniaque par l'effet de la simple oxydation d'un autre métal.

Les oxydes de fer, à l'instant où on les retire de la terre, et avant même qu'ils aient été touchés ou qu'ils aient séjourné dans les maisons habitées, renferment également de l'ammoniaque, comme M. Boussaingault l'a reconnu par les moyens employés ordinairement. Ce fait tendrait à prouver que les oxydes de fer naturels proviennent du fer qui était primitivement à l'état métallique. Les expériences suivantes prouvent la formation de l'ammoniaque dans l'oxydation des métaux, et par suite dans les actions lentes. On prend des lames polies de zinc, de fer, de plomb ou d'étain, et l'on verse dessus une petite quantité d'eau, en y appliquant des bandes de papier de curcuma ; une demi-heure après, il se manifeste déjà sur le papier à réactif des taches rouges qui prennent peu à peu de l'accroissement et disparaissent par l'action de la chaleur. Ces caractères sont tellement significatifs, que le fait annoncé est suffisamment prouvé. Nous aurons occasion dans le cours de cet ouvrage de citer plusieurs exemples de formation d'ammoniaque dans les décompositions électro-chimiques lentes.

Des tentatives faites pour isoler le radical de l'ammoniaque.

Nous sommes amené naturellement à parler de l'amalgame d'ammoniaque et de l'ammonium, que M. Berzélius considère comme un métal constituant le radical de l'ammoniaque.

Après avoir découvert le potassium et le sodium, dont nous parlerons plus loin, Davy chercha dans l'ammoniaque un radical semblable. Il crut d'abord que le gaz ammoniac décomposé par l'étincelle électrique donnait une certaine quantité d'oxygène, mais cet effet ne provenait que de ce que le gaz n'était pas parfaitement privé d'eau ; car on prouva plus tard qu'on n'obtenait que de l'hydrogène et de l'azote dans les proportions voulues pour la décomposition de cet alcali.

Dans le but de rechercher si réellement il était possible d'isoler le radical de cet alcali, MM. Berzélius et Pontin firent l'expérience suivante. Après avoir mis un peu de mercure au fond d'une capsule

de verre, ils y plongèrent un fil de platine en relation avec le pôle négatif de la pile; ils versèrent sur ce métal de l'ammoniaque caustique concentré, dans lequel ils firent plonger un fil de platine communiquant avec le pôle positif, et dont l'extrémité se trouvait à 2 mill. de distance du mercure. Ils n'observèrent d'abord un dégagement de gaz que du côté positif; mais bientôt il se dégagea des bulles au-dessus du mercure. Peu à peu ce métal se gonfla, épaissit, prit une consistance butyreuse et une couleur blanc d'argent; son volume augmenta de cinq à six fois. En retirant cet amalgame, il se convertit rapidement en ammoniaque avec dégagement d'hydrogène, après quoi le mercure reprit son état naturel; on se procure ainsi très-facilement ce composé en prenant un morceau de sel ammoniac dans lequel on pratique une petite cavité, où, après avoir mouillé le sel, on introduit une gouttelette de mercure que l'on met en relation, au moyen d'un fil de platine, avec le pôle négatif d'une pile, tandis que le sel lui-même communique avec le pôle positif. On s'aperçoit alors que le globule de mercure augmente peu à peu de volume et finit par remplir toute la cavité. M. Berzélius expliqua l'effet produit en admettant que le mercure s'était combiné, comme dans l'expérience avec la potasse, avec un radical métallique auquel il donna le nom d'ammonium.

Davy adopta la théorie de M. Berzélius relativement à l'existence de l'ammonium; mais il n'en fut pas de même de MM. Gay-Lussac et Thénard, qui, pour bien connaître la nature de cet amalgame, en firent l'analyse. L'ayant bien fait sécher, ils le mirent dans un flacon de verre, long et étroit, parfaitement sec et rempli d'air, et l'agitèrent pendant quelques minutes. La combinaison fut détruite, et les parties constituantes se séparèrent sans que l'air fût aucunement modifié. Ils en conclurent que l'amalgame ammoniacal ne pouvait exister que sous l'influence de la pile, et devait être considéré comme formé de mercure, d'hydrogène, d'ammoniaque, c'est-à-dire comme le résultat de la dissolution de ces deux gaz dans le métal.

M. Berzélius, qui ne partage point cette manière de voir, admet l'existence de l'ammonium, qui, selon lui, est un métal composé d'hydrogène et du radical présumé de l'azote, auquel il donne le nom de *nitricum*. Il pense que lorsque, par l'oxydation, ce métal se couvertit en ammoniaque, il se combine avec autant d'oxygène qu'il en faut pour couvertir le *nitricum* en azote. Il résulte de là que lorsque l'alcali est décomposé à une haute température, le *nitricum* s'empare de l'oxygène, et l'hydrogène devient libre. L'ammoniaque serait ainsi

l'oxyde d'un métal hydrogéné qui renfermerait 53,4 de métal et 46,6 d'oxygène; l'ammonium, 32,56 d'hydrogène, et 67,44 de nitricum.

Cette manière de voir repose sur des probabilités que justifie la théorie des proportions chimiques. Néanmoins, l'existence de l'ammonium, c'est-à-dire d'un métal hydrogéné, n'est pas encore démontrée. Nous ne pousserons pas plus loin cette discussion, dont nous n'avons fait mention ici que parce que l'amalgame ammoniacal qui l'a soulevée est un produit électro-chimique.

Pour suivre l'ordre que nous avons adopté, nous devrions maintenant présenter les propriétés électro-chimiques des sels ammoniacaux; mais comme nous ne pouvons traiter chaque sel en particulier, nous préférons n'en pas faire mention dans ce moment, et continuer l'exposé des métalloïdes et leurs combinaisons, à l'exception cependant des sels, dont nous exposerons les généralités, sous le rapport électro-chimique, quand nous aurons vu les métaux.

BIOXYDE D'HYDROYGÈNE OU EAU OXYGÉNÉE.

Ce corps est intéressant à étudier électro-chimiquement, par la facilité avec laquelle on observe les effets électriques produits dans sa décomposition. Il est incolore et sans odeur; sa tension est plus faible que celle de l'eau; on le concentre facilement dans le vide à la température ordinaire, au moyen de l'acide sulfurique. On n'a pu jusqu'ici le solidifier, quelque basse qu'ait été la température à laquelle on ait pu le soumettre.

Densité.....		1,452
Poids atomique...	O = 100.	212,48
	2 H = 1..	17,03

Le bioxyde d'hydrogène est décomposé par le contact d'un grand nombre de corps, d'où résultent des effets électriques qui indiquent la nature de sa décomposition. (Voyez *Traité d'électricité*, t. II, p. 183.)

DES MÉTAUX.

Ce sont les corps les plus importants à étudier, non-seulement parce qu'ils forment une partie des principes constitutifs des appareils électro-chimiques, mais encore parce que, servant d'électrodes, ils fournissent les éléments des composés que l'on veut produire. Ils

doivent ces propriétés à ce qu'ils transmettent très-rapidement le fluide électrique, et peuvent se combiner avec l'oxygène, les métalloïdes et les acides que les courants leur présentent à l'état naissant. Nous allons d'abord présenter quelques-unes des propriétés générales qui serviront à indiquer de suite le mode d'action que leur fait subir l'électricité, puis nous exposerons les propriétés électro-chimiques de chacun d'eux.

Nous diviserons les métaux en trois sections.

Ire SECTION. — *Métaux électro-positifs, dont les oxydes forment les alcalis et les terres :* potassium, sodium, lithium, ammonium, barium, strontium, calcium, magnésium, aluminium, glucium, yttrium, zirconium, thorium.

IIe SECTION. — *Métaux électro-négatifs qui forment de préférence des acides avec l'oxygène :* tellure, arsenic, chrôme, vanadium, molybdène, tungstène, antimoine, tantale, titane.

IIIe SECTION. — *Métaux électro-positifs qui jouent principalement le rôle d'élément électro-positif dans les combinaisons salines :* or, osmium, platine, palladium, rhodium, argent, mercure, cuivre, urane, bismuth, étain, plomb, cadmium, zinc, nickel, cobalt, fer, manganèse, cérium.

Les principales propriétés physiques des métaux sont : 1° l'opacité, qui cependant n'est pas absolue, car une feuille d'or amenée à un six-millionième de millimètre d'épaisseur, laisse passer les rayons verts ; 2° l'éclat métallique dépendant de l'opacité ; en tête des métaux qui possèdent cette faculté se trouvent, d'après Leslie, le platine, l'acier, l'argent, le mercure, l'or, le cuivre, l'étain et le plomb ; 3° la fusibilité, qui est propre à tous les métaux, mais non au même degré, car le mercure est encore liquide à — 38°, tandis que le platine n'entre en fusion qu'au plus haut degré de chaleur que nous puissions obtenir, c'est-à-dire, avec le courant d'hydrogène et d'oxygène ; 4° la densité en général supérieure à celle des autres corps ; 5° le pouvoir conducteur de l'électricité, et par suite de la chaleur, beaucoup plus grand que dans tous les autres corps. Les effets résultant de cette faculté sont tellement importants en électro-chimie que nous devons en mentionner les principaux.

On a vu précédemment que tous les métaux ne conduisaient pas également bien l'électricité ; le tableau donné page 49 présente le rapport de conductibilité. Ce pouvoir conducteur est tellement plus grand dans les métaux que dans les autres corps, que le charbon, qui transmet assez bien l'électricité quand il est bien recuit, résiste, sui-

vant Davy, plusieurs milliers de fois plus au passage de l'électricité que le platine et le fer, considérés comme les moins bons conducteurs. Lorsqu'un métal s'échauffe par le passage d'un courant, on en conclut que l'électricité est gênée dans sa circulation, et que le conducteur métallique ne peut laisser passer toute la quantité que fournit la source. Davy, en confirmant cette conjecture, a reconnu que, lorsqu'un fil rougissait à l'air par suite du passage d'un courant énergique, cas où la pile n'est pas déchargée, si l'on place ce fil dans un liquide capable de le refroidir, l'eau, l'alcool, l'huile, il cesse d'être rouge, et la pile est déchargée complétement. On peut expliquer par ce moyen les faits suivants observés par Davy. Si un fil rougi par un courant dans toute sa longueur vient à être chauffé dans quelques points par une flamme d'une lampe à alcool jusqu'au point du rouge visible, si l'on applique un morceau de glace sur une portion du fil rouge, et qu'on y dirige un courant d'air froid, toutes les autres parties passent du rouge au rouge blanc.

Pour donner une idée des grands effets de chaleur produits par le passage de l'électricité dans les métaux, nous rapporterons les effets suivants, obtenus par Children avec une pile à la Wollaston, dont les couples avaient des dimensions considérables; chaque plaque de zinc avait 2 mètres de long et $0^m,8$ de large, et chaque plaque de cuivre avait une surface double. Le nombre des couples était tel qu'il fallait vingt et un compartiments présentant une capacité de plus de 3,500 litres. Deux cylindres de plomb étaient soudés aux deux pôles et plongeaient par leurs extrémités libres dans des bassins de mercure séparés. Il a commencé par déterminer la facilité avec laquelle différents métaux entrent en ignition quand ils font partie du même circuit. Il s'est servi à cet effet de deux fils de métaux différents qui avaient l'un et l'autre $0^m,21$ de longueur et 1 millimètre environ de diamètre. Chacun d'eux, d'une part, était en contact avec le mercure, et, de l'autre, était recourbé de manière à pouvoir s'accrocher l'un à l'autre. En chargeant l'appareil avec de l'eau renfermant $\frac{1}{40}$ d'acide, on obtenait les effets suivants :

Fils de platine et d'or.....	Ignition du platine.
Fils d'or et d'argent.....	Ignition de l'or.
Fils d'or et cuivre.....	Ignition des deux.
Fils d'or et de fer.....	Ignition du fer.
Fils de platine et de fer.....	Ignition du fer et quelque temps après du platine.

Fils de platine et de zinc.....	Ignition du platine et quelquefois fusion du zinc.
Fils de zinc et de fer.....	Ignition du fer, échauffement du zinc sans fusion.
Fils de plomb et de platine....	Fusion du plomb dans son point de contact avec le platine.
Fils d'étain et de platine.....	Fusion de l'étain au point de contact.
Fils de zinc et d'argent.....	Ignition du zinc avant d'être fondu.
Trois paires de fils de platine et d'argent.....	Ignition des fils de platine.
Un fil de zinc entre deux de platine.....	Ignition des fils de platine.

Nous voyons par ces résultats que des deux fils soumis à l'expérience, celui qui rougit est précisément le moins bon conducteur de l'électricité, et que lorsqu'on expérimente avec des fils mauvais conducteurs, c'est précisément aux points de contact où l'électricité éprouve le plus de résistance que l'ignition se manifeste; ce qui est conforme aux principes précédemment énoncés.

Ayant chargé ensuite sa pile avec un liquide composé d'eau et de $\frac{1}{20}$ de son poids d'un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique, et soumis à l'expérience des fils de platine de différentes longueurs et de différents diamètres, il a obtenu les résultats suivants :

Fil de platine de $1^m,81$ de long et de 3 millimètres de diamètre : il est devenu rouge dans toute sa longueur;

Fil de platine de $2^m,80$ et de 12 millimètres de diamètre : il s'est échauffé jusqu'au rouge;

Tige de platine de 5 millimètres en carré et de $0^m,06$ de long : elle s'est échauffée au rouge et a fini par entrer en fusion.

En plaçant de l'iridium ou de l'alliage d'iridium et d'osmium au fond d'une petite cavité pratiquée dans un morceau de charbon bien recuit et flottant à la surface du mercure dans l'un des bassins, et fermant le circuit par un morceau de charbon en communication avec l'autre bassin au moyen d'un gros fil de cuivre, il obtint les effets suivants avec la pile fortement chargée : l'iridium se fondit en globules pesant $0^{gr},37$ et renfermant encore quelques cavités. Dans cet état, il était brillant et avait une densité égale à 18,68. L'alliage d'iridium et d'osmium se fondit aussi en globules.

De la réduction des oxydes.

Tous les métaux peuvent être retirés de leurs oxydes au moyen de l'action chimique de l'électricité ; mais il ne faut pas croire qu'il faille toujours employer les actions des plus fortes piles pour obtenir la réduction des oxydes. Lorsque l'on soumet à l'action d'une pile de trente couples comme à celle d'un appareil simple, des solutions de manganèse, de zinc, de fer, d'étain, d'arsenic, d'antimoine, de bismuth, de cuivre, de plomb, de mercure, d'argent, d'or, de platine, la lame négative se recouvre en peu d'instants de métal réduit ; avec de fortes piles les solutions de titane, d'urane, de chrôme, de magnésium, de silicium, n'éprouvent aucune décomposition. Quant aux métaux des alcalis, il faut employer un appareil voltaïque composé d'un très-grand nombre de couples, ou bien, si on ne se sert que de quelques-uns, il faut prendre pour électrode négative le mercure, afin de faire concourir l'affinité de ce métal pour opérer la réduction du potassium et du sodium ; tandis que si l'on veut réduire les métaux qui résistent à l'action de piles très-énergiques, il faut employer des appareils simples, convenablement disposés, et dont on n'a bien connu toute la puissance que depuis que l'on a fait une étude approfondie de l'action chimique de l'électricité.

Lorsque l'on veut décomposer la combinaison d'un oxyde avec un acide, on conçoit parfaitement que si l'on fait concourir à l'action décomposante du courant non-seulement l'hydrogène, mais encore l'affinité d'une forte base pour l'acide, dans ce cas on aura deux forces, l'électricité et l'affinité, qui concourront à la décomposition du sel, avec réduction de la base. Tel est le principe général qui nous a servi à obtenir cristallisés les métaux des terres qui avaient résisté à l'action décomposante des courants les plus énergiques. Les détails dans lesquels nous entrerons à cet égard, en traitant des métaux des terres, montreront la fécondité du principe.

Nous venons de dire qu'au moyen des appareils simples, on obtenait les métaux des terres cristallisés : on peut également obtenir cristallisés tous les métaux ; il suffit pour cela d'employer une action lente et continue, pour que rien ne s'oppose au groupement régulier des particules. Nous entrererons dans quelques détails à ce sujet en parlant du cuivre.

POTASSIUM.

Le potassium est le radical de la potasse, qui n'en est que le protoxyde; il ressemble, quant à l'aspect, au mercure.

Densité à + 15°		0,865
Poids atomique.	O = 100	489,92
	2 H = 1	39,26
Cassure cristalline à		zéro.
malléable à		+ 10°.
demi-fluide à		+ 15°.
liquide à		+ 55°.

Ce métal entre en ébullition près de la température rouge, et se convertit en un gaz d'un beau vert. Chauffé, il prend feu et brûle avec une grande vivacité; l'étincelle électrique l'enflamme également. Voici les procédés électro-chimiques à l'aide desquels on l'obtient.

Le premier est dû à Davy. On place un morceau de potasse légèrement humecté sur une lame de platine mise en communication avec le pôle positif d'une pile de deux cents couples, et on ferme le circuit avec un fil de platine qu'on pose sur la potasse. Il se manifeste aussitôt une action très-vive; la potasse se fond aux deux parties électrisées. Du côté négatif, il n'y a aucun dégagement de gaz, mais il s'y dépose des petits globules ayant un éclat métallique très-brillant et brûlant avec explosion et une flamme vive à l'instant de leur formation. Ces globules sont le potassium, qui se change en potasse au contact de l'air ou de l'eau. Quand on le projette dans cette dernière, il prend feu et brûle avec une flamme rouge.

Ce procédé ne donnant qu'une très-petite quantité de potassium, on a profité de la grande affinité de ce métal pour le mercure, pour le soustraire à l'action de l'air et en obtenir davantage. Ce principe a été mis en pratique par Seebeck de la manière suivante, en n'employant qu'un appareil composé d'un petit nombre de couples. On pratique une cavité dans un fragment de potasse légèrement humectée, et on la remplit de mercure; ce fragment est ensuite posé sur la lame de platine, tandis que le fil de platine plonge dans le mercure. L'alcali et l'eau sont alors décomposés, leurs principes constituants sont transportés à leurs pôles respectifs, et le radical de l'alcali, en se combinant avec le mercure, forme un amalgame qui ne se décompose pas, ou du moins ne se décompose que faiblement tant qu'il fait partie du circuit; on le met ensuite dans l'huile de naphte pour le préserver de

l'action de l'air. Pour obtenir le potassium pur, on place l'amalgame dans un tube recourbé fermé aux deux extrémités, dont on a chassé préalablement l'air. En chauffant l'extrémité où se trouve l'amalgame, on chasse le mercure, et le potassium reste. Le potassium obtenu ainsi renferme plus ou moins de mercure. M. Bird a formé l'amalgame de potassium au moyen de l'appareil (pl. XI, fig. 11). Au lieu d'un tube contenant la dissolution métallique, il a fait usage d'un petit entonnoir de verre dont le bec était rempli de plâtre, et sur lequel il plaça un tube de verre fermé à l'un des bouts d'environ 10 à 12 millimètres de diamètre, et à moitié rempli de mercure pur. Ce tube était incliné d'environ 40°, et plongeait partiellement dans la dissolution de sel marin contenue dans le cylindre de l'appareil décomposant. Le cylindre communiquait avec une lame de cuivre de l'appareil à force constante, au moyen d'une lame de zinc amalgamé plongeant dans la dissolution de sel marin. L'entonnoir était alors presque rempli d'une solution de chlorure de potassium, et un bout de fil de platine mis en rapport avec la lame de zinc du couple était enroulé en spirale et plongeait dans le mercure du tube. Dès l'instant que le circuit fut complété, des bulles d'hydrogène se dégagèrent de la surface du mercure; en huit ou dix heures, le mercure avait doublé de volume; en plongeant un morceau de papier de curcuma, il rougit. Il s'était formé de l'amalgame de potassium.

Le potassium produit des mouvements singuliers dans des liquides conducteurs traversés par des courants électriques. (*Traité de l'électricité et du magnétisme*, t. III, p. 173.)

SODIUM.

Le sodium est le radical de la soude, comme le potassium est le radical de la potasse. Les propriétés du sodium et du potassium sont analogues.

Ce métal est blanc et ressemble à l'argent; il est plus mou et plus malléable que les métaux ordinaires; on le réduit très-facilement en feuilles minces, et il conserve la malléabilité jusqu'au point de fusion.

Densité (Davy)		0,9348
Idem (MM. Thénard et Gay-Lussac)		0,972 à 15°
Poids atomique.	O=100	290,90
	2H=1	23,31

Ce métal se ramollit à + 50°, et à + 90° il est parfaitement liquide;

mais il ne se volatilise point à la chaleur qui suffit ordinairement pour la fusion du verre.

Il s'oxyde vivement à l'air, et se couvre d'une croûte de soude. Il ne brûle ordinairement que lorsqu'il est sur le point de rougir. Il lance autour de lui des étincelles embrasées, à la surface de l'eau, et se recouvre d'une couche d'oxyde, sans pour cela s'enflammer. Il a un peu moins d'affinité pour l'oxygène que le potassium. Néanmoins, il décompose la plupart des corps oxydés. Le procédé pour l'obtenir électro-chimiquement étant le même que pour le potassium, nous n'en ferons pas autrement mention.

LITHIUM.

Ce métal est le radical de la lithine, qui est un des principes constituants de plusieurs substances minérales, telles que le pétalite, le triphane, la tourmaline apyre, etc.

Poids atomique.	O = 100	80,33
	2 H = 1	6,44

On obtient ce corps directement en réduisant l'hydrate de lithine au moyen de l'action voltaïque ; mais comme son affinité pour le mercure est très-faible, on ne peut l'amalgamer en prenant ce dernier métal pour électrode négative.

BARIUM.

Ce métal est le radical de la baryte.

Poids atomique.	O = 100	856,88
	2 H = 1	68,66

Le barium s'obtient, comme la potasse, en se servant du mercure comme électrode négative, sur lequel on place de l'hydrate de baryte, en pâte un peu claire, et que l'on met en relation avec l'électrode positive de la batterie, laquelle doit être composée d'un certain nombre d'éléments et puissamment chargée, sans quoi l'eau serait décomposée. L'amalgame est ensuite distillé dans des vases de verre remplis de gaz hydrogène. Le mercure se volatilise ; la barium reste, quoique encore allié à un peu de mercure, car en chauffant trop fort, le verre serait décomposé.

Le barium ressemble à de l'argent ; il se précipite au fond de l'eau et de l'acide sulfurique concentré, s'oxyde rapidement aux dépens de l'oxygène de l'eau, et aussi à l'air libre, et peu à peu se recouvre

de baryte. Il entre en fusion avant d'avoir atteint la température rouge, et ne paraît pas dépourvu de malléabilité.

STRONTIUM.

Ce métal dont la stontiane n'est que l'oxyde ressemble beaucoup au barium, et on l'obtient de la même manière; il est aussi plus pesant que l'eau et l'acide sulfurique.

Poids atomique.	O = 100	547,29
	2 H = 1	43,85

CALCIUM.

Ce métal, radical de la chaux, est obtenu par le même procédé que le barium. Il est blanc comme l'argent, et s'enflamme à l'air en donnant naissance à de la chaux. Son amalgame, exposé à l'air, se recouvre d'une croûte noire, qui est un mélange de chaux et de protoxyde de mercure : quand l'amalgame est concentré, il est peu coulant; quand il est débarrassé de la plus grande partie du mercure, il est dur et solide, et se recouvre d'une croûte calcaire blanche.

Poids atomique.	O = 100	256,02
	2 H = 1	20,52

MAGNÉSIUM.

Ce métal, radical de la magnésie, est d'un blanc argenté et a beaucoup d'éclat; il est susceptible d'être limé et étendu sous le marteau. A la température à laquelle se ramollit le verre vert, il s'enflamme et brûle avec un grand éclat, en produisant de la magnésie.

Poids atomique.	O = 100	158,35
	2 H = 1	12,69

Davy, et les physiciens qui le suivirent, ont obtenu ce métal au moyen de l'électricité, et en employant l'action du mercure. A cet effet, il faut préparer un sel de magnésie avec de l'hydrate magnésique, qui est presque entièrement insoluble dans l'eau avec laquelle on le délaye. La séparation du mercure par la chaleur s'opère lentement, et plus difficilement que lorsque l'on opère sur les amalgames des métaux alcalins, attendu que le magnésium décompose le verre avant que tout le mercure ne soit volatilisé. Le magnésium, qui renferme encore du mercure, est plus pesant que l'eau, et se décompose à ses dépens quand on l'y plonge pour former la magnésie; celle-ci étant très-peu

soluble, la décomposition est très-lente, mais l'addition d'un acide l'accélère. Exposé à l'air, le magnésium ne tarde pas à se couvrir d'une couche blanche de magnésie. Davy, qui le premier en a préparé l'amalgame, a reconnu qu'il fallait beaucoup plus de temps pour l'obtenir que pour produire ceux des métaux des terres alcalines.

On peut encore obtenir le magnésium en suivant la méthode que nous avons indiquée en parlant du silicium, ou celle de M. Golding Bird, qui n'est que la nôtre avec addition d'un coupie; et, pour bien faire comprendre notre procédé, quelques détails nous ont paru nécessaires pour l'intelligence des méthodes d'expérimentation électro-chimique. Quand on verse dans la branche négative d'un appareil électro-chimique simple, disposé comme nous l'avons dit, et qui n'est autre qu'un tube de verre recourbé en U, une dissolution de chlorure de magnésium saturée, et dans la branche positive une solution de chlorure de sodium, et lorsqu'on met ensuite ces deux branches en relation avec une pile voltaïque, au moyen de lames de platine, on n'obtient aucune réduction du magnésium, mais bien dans la branche négative de la magnésie avec de la soude. Si l'on ajoute à la solution de chlorure de magnésium un dixième environ de son poids de protochlorure de fer, il y a réduction de fer à l'état métallique sans mélange ou combinaison de magnésium; il n'y a donc aucune affinité entre ces deux métaux, comme entre le fer, le silicium, le zirconium, le glucium.

Il n'en est pas de même en opérant avec du chlorure de magnésium préparé dans une bassine d'argent; dans ce cas, le sel magnésique renferme une petite quantité de chlorure d'argent. Quand on se sert de l'action voltaïque sur une solution de cette nature, il se dépose sur la lame négative un dépôt gris, puis des tubercules de même couleur, enfin des cristaux octaèdres d'un blanc argentin qui possèdent toutes les propriétés du magnésium. Le dépôt gris paraît être un alliage d'argent et de magnésium, tandis que les tubercules qui, sous le brunissoir, acquièrent un brillant métallique, sont du magnésium pur. On voit donc que la présence de l'argent a déterminé la réduction du magnésium, laquelle a continué même lorsque tout l'argent a été réduit. L'expérience, telle que nous venons de la décrire, ne réussit pas toujours; il est des circonstances, des causes qui, à l'observation, échappent. Mais quand l'expérience réussit, l'hydrogène se dégage en très-petite quantité, et pour ainsi dire d'une manière presque insensible. Dans ce cas, tout le gaz qui provient

de la décomposition de l'eau est employé à la réduction de la magnésie.

Nos expériences ont été faites avec des piles de 30, 60 éléments, chargées avec une dissolution légère de sel marin, et dont chaque élément présentait une surface de 16 centimètres carrés. Pour diminuer la vitesse du courant, on s'est servi d'un entonnoir de verre dont le bec, qui avait un décimètre de long, renfermait de l'argile légèrement humectée. L'entonnoir renfermait la dissolution de chlorure de magnésium, et son bec plongeait dans une solution de sel marin. Néanmoins, en opérant comme l'a fait M. Golding Bird, on n'a besoin que d'un seul couple.

ALUMINIUM.

Ce métal, radical de l'alumine, base des argiles qui sont très-répandues à la surface du globe, et dont l'abondance ne le cède peut-être qu'à la silice, peut se préparer avec facilité à l'aide des forces électriques.

$$\text{Poids atomique.} \begin{cases} O = 100 \ldots\ldots & 171{,}17 \\ 2\,H = 1 \ldots\ldots & 13{,}72 \end{cases}$$

Tous les physiciens, en tête desquels on doit placer Davy, qui avaient essayé de retirer l'aluminium de l'alumine, au moyen de l'électricité à forte tension, n'avaient pas réussi; et cependant, s'ils se fussent servis d'appareils simples fournissant de l'électricité à petite tension, ils auraient vu apparaître, non pas l'aluminium sous la forme de poudre grise comme l'obtiennent les chimistes, mais bien sous forme de cristaux dont l'éclat peut rivaliser avec celui de l'acier poli.

GLUCIUM.

Le glucium est, comme son nom l'indique, le radical de la glucine.

$$\text{Poids atomique.} \begin{cases} O = 100 \ldots & 331{,}26 \\ 2\,H = 1 \ldots\ldots & 26{,}54 \end{cases}$$

Et avant nous il n'avait pu être obtenu au moyen des forces électriques.

Le procédé dont nous nous sommes servi est le même que celui pour obtenir l'aluminium, et nous l'obtînmes à l'état métallique cristallisé, combiné avec un peu de fer, ou sans fer, comme l'a fait depuis M. Golding Bird.

ZIRCONIUM.

Le zirconium est le radical de la zircone. Il se présente, quand il est préparé par le procédé chimique, sous la forme de petites masses

d'une poudre noire comme du charbon, et ayant de la cohérence, susceptible, sous le brunissoir, de prendre un éclat gris foncé. Il est mauvais conducteur de l'électricité, et par conséquent de la chaleur.

Poids atomique. $\begin{cases} O = 100 \ldots & 420,20 \\ 2H = 1 \ldots & 33,67 \end{cases}$

Le zirconium a été obtenu cristallisé en lamelles brillantes au moyen du procédé électro-chimique décrit pour avoir le silicium; nous y renvoyons nos lecteurs. Pour éviter qu'il ne se change en zircone, il faut employer les mêmes précautions que celles indiquées pour conserver le silicium.

THORIUM.

Ce corps, radical de la thorine, se présente sous la forme d'une poudre grise et lourde, à laquelle on fait prendre un éclat métallique.

Poids atomique. $\begin{cases} O = 100 \ldots & 744,90 \\ 2H = 1 \ldots & 59,83 \end{cases}$

Il est très-probable qu'en soumettant une dissolution de chlorure de thorium à l'action d'un courant dans un appareil semblable à celui avec lequel on obtient le silicium et le zirconium, on aurait également le thorium.

YTTRIUM.

Ce métal est le radical de l'yttria, qu'on retire d'un minéral appelé *gadolinite*, et qui est un composé de protoxyde de fer et de protoxyde de cérium. Jusqu'ici il n'avait pu être obtenu au moyen des forces électriques provenant d'appareils très-énergiques; mais sa réduction est facile au moyen de nos appareils simples que nous avons décrits précédemment.

ARSENIC.

Ce corps se montre fréquemment dans la nature, tantôt à l'état métallique, tantôt combiné avec le soufre et les métaux, ou bien avec les terres et les oxydes métalliques. Il s'échappe de plusieurs volcans, en vapeurs, et se sublime.

Densité à l'état de pureté	5,70
Idem, exposé à la température rouge dans un tube de porcelaine, puis refroidi	5,959
Chaleur spécifique (M. Regnault)	0,08140
Point de fusion	180°
Poids atomique. $\begin{cases} O = 100 \\ 2H = 1 \end{cases}$	$\begin{cases} 470,04 \\ 37,67 \end{cases}$

Les forces électriques réduisent avec une grande facilité les composés arsénifères. Le procédé est si simple que nous allons le faire connaître, non-seulement sous le rapport scientifique, mais encore sous celui d'utilité dans les cas d'empoisonnement. Les appareils électrochimiques simples procurent en peu de temps une certaine quantité d'arsenic. M. Edm. Davy dispose son appareil destiné à réduire l'arsenic à l'état métallique de la manière suivante : une lame de zinc et une lame de platine, la première en feuille mince, la seconde façonnée en creuset ou en cuiller. Quand on veut opérer la décomposition d'une solution qui renferme de l'arsenic ou même une autre solution métallique, on y ajoute quelques gouttes d'acide et on met le tout dans la cuiller de platine, et on plonge dedans la lame de zinc préalablement mise en contact avec le platine ; aussitôt après, l'arsenic se dépose sur les parois du platine, pôle négatif du couple voltaïque. La cuiller de platine est destinée à concentrer la dissolution. Si l'on veut opérer sur les arséniates de chaux, sur l'acide arsénique, les sulfures d'arsenic, il faut les traiter préalablement avec de l'acide nitrique. Voici comment on fait cette préparation avec le sulfure rouge d'arsenic : on prend une certaine quantité de ce composé, on le réduit en poudre, et on en met une petite quantité avec quelques gouttes d'acide nitrique concentré dans la cuiller de platine dont on élève la température, afin d'opérer la décomposition du sulfure et chasser ensuite l'excès d'acide ; on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique, et la réduction de l'arsenic commence aussitôt qu'a lieu l'immersion du zinc. Les pyrites arsenicales doivent être traitées de la même manière.

Les arséniates de cuivre exigent un autre traitement. Le composé est dissous dans quelques gouttes d'acide hydrochlorique, et l'on chauffe ensuite dans la cuiller de platine. A l'instant où l'action voltaïque se manifeste, l'arsenic est réduit ; mais si l'on traite par l'acide nitrique étendu, qu'on fasse bouillir et qu'on ajoute assez d'eau pour faire une dissolution, le cuivre seul est réduit. En détruisant le contact avec le zinc, le cuivre est redissous par l'excès d'acide ; en maintenant le contact du zinc, l'arsenic forme un cercle sur le platine, tandis que le cuivre se montre au delà.

Quand on veut obtenir réuni l'arsenic précipité sur une feuille de platine, on introduit celle-ci dans un tube fermé d'un bout, et l'on chauffe à la lampe à alcool ; l'arsenic se sublime aussitôt. Par ce procédé, la quantité d'arsenic qui s'attache au platine est quelquefois moindre d'un demi-milligramme ; et on peut, par ce procédé, en obtenir des

quantités dix fois moindres. On emploie avec avantage le creuset, quand il est revêtu intérieurement d'une couche d'or très-mince; dans ce cas, la couleur de l'or est masquée par la couleur gris d'acier sombre de l'arsenic. Si l'on joint à ces caractères l'odeur alliacée qu'on ressent quand on expose la cuiller à l'action de la chaleur, et l'insolubilité du dépôt dans l'acide muriatique concentré, on a tous les caractères propres à l'arsenic.

Ce procédé, qui est électro-chimique, pourrait être employé dans des cas de médecine légale où l'on désirerait constater la présence de très-faibles quantités d'arsenic.

CHROME.

Le chrome a été découvert pour la première fois en 1797, dans un métal de Sibérie appelé chromate de plomb.

Densité		5,9
Poids atomique.	O = 100	351,82
	2 H = 1	28,19

Richter a avancé qu'il était magnétique à un degré très-faible. Il est très-réfractaire; on ne peut l'obtenir en culot.

Nous n'avons pas encore essayé de réduire le chrome au moyen des appareils électro-chimiques; mais il est probable qu'on y parviendra au moyen du chlorure chromique. On pourrait opérer sur le sulfate chromique soluble dans l'eau, ainsi que sur le nitrate de chrome, qui est vert et se dissout facilement.

MOLYBDÈNE.

On retire ordinairement ce métal du sulfure de molybdène, qui a de la ressemblance avec la plombagine. Il est cassant; il conduit l'électricité et n'est point altéré à l'air.

Densité		8,611
Chaleur spécifique		0,07218
Poids atomique.	O = 100	598,62
	2 H = 1	47,96

Pour l'obtenir au moyen de l'électricité, il faut opérer sur des solutions de composés de ce métal les plus faciles à décomposer.

TUNGSTÈNE.

Ce corps est un des principes constituants d'un minéral appelé *wol-*

fram; on l'obtient en chimie à l'état de poudre d'un gris d'acier. Aggloméré, il est tellement dur que la lime l'attaque avec peine; il est aigre, à cassure cristalline, et plus difficile à fondre que le manganèse.

Densité		17,22 à 17,60
Chaleur spécifique		0,03636
Poids atomique.	O = 100	1183,0
	2 H = 1	94,80

On ne s'est pas occupé de l'obtenir électro-chimiquement.

ANTIMOINE.

L'antimoine diffère des métaux précédemment décrits, en ce qu'il se rencontre dans la nature à l'état métallique; on le trouve aussi quelquefois à l'état d'oxyde, mais le plus souvent à l'état de sulfure.

Suivant Haüy, ses formes dérivent de l'octaèdre :

Densité		6,602 à 6,56
Chaleur spécifique		0,0507
Température de fusion		400°
Poids atomique.	O = 100	806,15
	2 H = 1	64,62

Pour obtenir ce métal par les procédés électro-chimiques, il faut soumettre à l'expérience les diverses solutions de ce composé, lesquelles se troublent quand on les étend d'eau, sont décomposées par le fer et le zinc, qui en précipitent l'antimoine à l'état métallique.

TELLURE.

Ce métal, très-rare, n'a été trouvé jusqu'ici que dans quelques mines d'or de Transylvanie, combiné avec l'or et l'argent, et quelquefois avec le cuivre et le plomb.

Densité	d'après M. Muller	6,115
	d'après M. Magnus	6,1379
Chaleur spécifique.	Dulong	0,0912
	M. Regnault	0,05155
Poids atomique.	O = 100	801,76
	2 H = 1	64,25

Il est à peu près fusible au même degré que l'antimoine ; il ne peut être distillé.

Le tellure a une couleur presque semblable à celle de l'antimoine ; à l'air, il brûle avec une flamme vive, vert bleuâtre, et répand une forte fumée blanche.

Ritter a remarqué le premier que, lorsque le tellure constitue le pôle négatif d'une pile, l'hydrogène qui se dégage se combine avec le métal ; on obtient ainsi du gaz hydrogène telluré et un précipité brun clair que Ritter lui-même considérait comme du tellurure d'hydrogène ; mais Magnus a reconnu que ce précipité n'était autre que du tellure dans un grand état de division, et ne renfermant point d'hydrogène.

TANTALE.

On obtient le tantale sous la forme d'une poudre noire qui, sous le brunissoir, prend l'éclat métallique et une teinte gris de fer. Dans cet état, elle conduit mal l'électricité. Elle brûle dans l'air au-dessous de la température rouge, et se transforme alors en acide tantalique. M. Berzélius ayant remarqué que le tantale pulvérulent était privé de la propriété de conduire l'électricité, tandis que le sulfure de ce métal la possédait, a eu l'idée d'examiner la nature de la croûte jaunâtre qui recouvre la matière agglomérée obtenue, quand on soumet l'acide tantalique à une température élevée dans un creuset brasqué. Il a reconnu que cet acide n'est réduit que superficiellement là où il est en contact avec le charbon, et que la croûte jaunâtre n'est que du tantale. Ce dernier conduit l'électricité comme les substances métalliques. Dès lors, le tantale en poudre est privé de cette faculté en raison du grand degré de division de ses parties. Les expériences ont été faites avec le multiplicateur.

Poids atomique.	O = 100	1153,72
	2H = 1	92,45

Pour obtenir ce métal par les procédés électro-chimiques, il faut opérer, comme pour le tellure, sur des composés solubles de ce métal, dans lesquels on puisse faire passer un courant électrique. Nous conseillerons de prendre, non pas le chlorure de tantale, qui se décompose au contact de l'eau et se change en acide tantalique, mais le fluorure tantale, qui est soluble dans l'eau.

TITANE.

En raison de sa présence dans les terrains primitifs et dans les terrains volcaniques, le titane doit être étudié avec soin en électro-chimie.

Poids atomique.	O = 100	303,66
	2 H = 1	24,33

Pour obtenir le titane au moyen des forces électriques, il faut employer le chlorure de titane qui se prépare eu dissolvant l'acide titanique dans l'acide hydrochlorique. Il se forme un sel acide et un sel basique. Le sulfate de titane peut aussi servir, mais il faut éviter de l'étendre d'eau; car, dans ce cas, le sel est précipité.

Métaux électro-positifs qui jouent principalement le rôle d'éléments électro-positifs dans les combinaisons salines.

OR.

Ce métal se trouve dans presque toutes les parties du globe; mais il est plus abondant dans les régions chaudes que partout ailleurs.

Gahn prétend qu'il n'existe pas de pyrites qui n'en contiennent. La présence de ce métal dans ces composés est souvent la cause de leur décomposition, parce qu'ils constituent un couple voltaïque. Au fur et à mesure que les pyrites se décomposent, l'or est enlevé par les eaux, et se mêle avec les sables qui constituent alors les sables aurifères, d'où on le retire par le lavage.

La présence de l'or dans certaines pyrites, comme à Bérésoff, en Sibérie, aide tellement à la décomposition, qu'en parcourant les Challanches (montagnes d'Allemont, en Dauphiné), nous vîmes répandues sur le sol des pyrites en décomposition, ayant l'aspect de celles de Bérésoff. Nous supposâmes que l'or n'était pas étranger à cette décomposition. En effet, les ayant broyées et soumises au lavage, nous obtînmes au fond du mortier d'agate des paillettes d'or. Nous recommandons ce procédé toutes les fois que l'on voudra s'assurer de la présence de l'or ou même de parcelles métalliques dans des minerais.

L'or a été trouvé jusqu'ici à l'état métallique, en poudre, en paillettes, en dendrites, en filaments, en grains et en masses plus ou moins considérables.

Densité, suivant qu'il a été plus ou moins comprimé.	de 19,4 à 19,65
Chaleur spécifique (Dulong et Petit).....	0,0298
Poids atomique... O=100.....	1243,01
2 H=1.....	99,60

L'or ne s'oxyde à aucune température. Jadis, on prétendait que la poussière pourpre que l'on obtenait en faisant passer la décharge d'une batterie voltaïque dans un fil fin d'or était un oxyde; mais il ne peut en être ainsi, attendu que la poussière purpurine se produit encore quand l'expérience se fait dans le gaz hydrogène. D'un autre côté, il y a peu de probabilité que l'or puisse s'oxyder par l'effet de la décharge, à une température comme celle qui existe dans ce cas-là, et à laquelle il se réduit ordinairement. La poudre purpurine n'est donc que de l'or dans un état de division extrême.

Si l'or est allié à un métal oxydable, la poussière purpurine renferme l'oxyde de ce métal; c'est même ce moyen qui fait reconnaître, sans opérer des dissolutions, si l'or est allié à tel ou tel métal.

Les solutions d'or sont très-facilement décomposées dans les appareils électro-chimiques simples.

Essais électro-chimiques des dissolutions d'or dans l'eau régale.

Prenons une dissolution d'or, et voyons comment l'action d'un appareil simple peut déceler la présence de ce métal. Ce dernier peut être seul dans la dissolution, ou bien mélangé avec d'autres métaux. Prenons le premier cas. Si l'on verse dans 2 ou 3 centilitres d'eau une seule goutte de dissolution d'or, et qu'on y plonge un couple zinc et platine, le zinc se recouvre d'un précipité brun d'or métallique, et le platine conserve son éclat. Il en est de même en substituant au platine un fil de cuivre amalgamé, malgré l'affinité du mercure pour l'or. Il n'en est plus ainsi quand le métal oxydable se trouve séparé de l'autre par un diaphragme d'argile rempli d'un liquide non actif : en effet, on prend un bocal muni d'une tubulure, et l'on verse dedans une solution de sel marin concentrée; on passe dans la tubulure le bec d'un entonnoir de verre dont l'extrémité est fermée par de l'argile humide et coiffée avec du linge. On place dans l'entonnoir la solution d'or soumise à l'essai. On prend ensuite un tube de verre dans lequel on introduit un fil fin de platine qui dépasse

l'extrémité de quelques millimètres, laquelle est ensuite soudée à la lampe. La partie soudée est plongée dans la solution d'essai, tandis que le bout libre du fil passant à l'autre extrémité est mis en communication avec une lame de zinc plongeant dans l'eau salée. Au même instant l'action électro-chimique commence, et l'or se précipite sur le bout du fil de platine qui plonge dans la dissolution d'or. Quand la portion de cette dissolution, en contact avec le bout de fil, a cédé tout son or, elle est remplacée par la portion contiguë, et ainsi de suite jusqu'à ce que la décomposition soit achevée ; de sorte que toute la quantité d'or tenue en dissolution se trouve déposée sur une très-petite étendue de surface. On peut ainsi, non-seulement reconnaître la présence d'une très-petite quantité d'or dans une dissolution, mais encore la recueillir. Dès l'instant que l'opération est terminée, ce qui est facile à reconnaître au moyen d'un second fil de platine qu'on introduit dans le circuit comme fil d'épreuve, et qui ne se recouvre pas d'or quand l'opération est achevée, on coupe le fil à ras du tube, puis on le pèse ; on dissout l'or par l'eau régale étendue ; on pèse de nouveau le fil, et la différence donne le poids de l'or. Il faut avoir soin, pendant l'expérience, que le fil ne touche pas la paroi du bec de l'entonnoir, dans la crainte qu'il n'adhère au verre quelque parcelle d'or. S'il tombe de ces parcelles dans le tube, on les recueille, et, à cet effet, on place une petite bande de papier sur l'argile, afin qu'elles puissent s'y déposer. Le tube qui renferme le fil de platine est fixé à une tige horizontale, glissant avec frottement le long d'un pied vertical, afin de pouvoir l'élever ou l'abaisser à volonté. On évite toute perte d'or en fixant à l'extrémité du fil une capsule de platine d'un très-petit diamètre, dont la surface extérieure est recouverte de vernis, afin que l'or, se précipitant dans l'intérieur, puisse être recueilli en entier.

Examinons maintenant les cas où l'or est mélangé avec d'autres métaux dans une dissolution, et voyons s'il ne serait pas possible de le retirer seul par le concours des forces électriques et des affinités. En cherchant à résoudre cette question, nous avons été conduit à quelques principes généraux qui pourront être invoqués dans le départ des métaux au moyen des forces électriques. Nous avons à considérer deux cas. Dans le premier, les métaux sont dissous dans l'eau régale; dans le deuxième, dans un persulfure alcalin. Supposons un métal oxydable en dissolution avec un autre qui l'est peu ou point dans un liquide quelconque; si l'on veut séparer ce dernier de l'autre en se servant de l'appareil formé d'un couple et d'un diaphragme

en terre peu cuite, on conçoit qu'en versant dans ce diaphragme la dissolution métallique, et dans le vase où il plonge une dissolution de même densité, et qui n'en diffère qu'en ce qu'elle ne renferme pas le métal que l'on veut retirer, il n'y aura pas d'endosmose, ou du moins elle sera excessivement faible. C'est en cela que consiste en grande partie le succès de l'opération. En effet, prenons pour couple voltaïque une lame de platine et une lame de métal oxydable : si l'on plonge la première dans la dissolution donnée, et la seconde dans la dissolution qui renferme le métal oxydable, et qu'on établisse la communication entre les deux lames, dès l'instant que le couple commence à fonctionner, le métal non oxydable se réduit seul par suite de l'oxydation de l'autre. Nous disons qu'il se réduit seul ; car, s'il en était autrement, il se trouverait sur chaque lame quelque portion du métal oxydable, puisque l'une en est formée entièrement et que l'autre en serait recouverte ; il en résulterait donc deux courants électriques égaux, en sens inverse, et par conséquent absence d'action décomposante. Il pourrait se faire néanmoins que le métal non oxydable, en se précipitant, entraînât avec lui une portion de l'autre métal, de manière à former une combinaison des deux métaux en proportion définie. Il serait encore possible que l'on ne pût précipiter tout le métal non oxydable, en raison de l'affinité des deux métaux l'un pour l'autre; l'expérience va prononcer.

Séparation de l'or d'une dissolution qui renferme du cuivre, du fer ou du plomb.

On prend une dissolution d'or et de cuivre dans l'eau régale, dont on remplit un vase dans lequel se trouve un diaphragme en terre cuite, contenant seulement une dissolution de cuivre dans le même liquide, à peu près au même degré de concentration. Dans celle-ci plonge une lame de cuivre ; dans l'autre, une lame de platine. Le cuivre est immédiatement attaqué avec formation de protochlorure. Le courant électrique qui en résulte a une intensité suffisante pour décomposer le chlorure d'or ; l'or se précipite sur la lame de platine, et quoique sa couleur soit jaune un peu rougeâtre, l'acide nitrique bouillant ne la change pas et ne dissout pas de cuivre.

Dans une expérience que nous avons faite pour nous assurer s'il y avait réellement du cuivre, nous avons traité par l'eau régale, puis par l'ammoniaque, et la dissolution, de jaune qu'elle était, est devenue

parfaitement incolore et a persisté, de sorte que l'or ne renfermait pas de traces appréciables de cuivre.

L'expérience a dû être répétée pour déterminer avec exactitude la quantité d'or que l'on pouvait retirer d'une dissolution renfermant une quantité donnée d'or.

On a mis dans une solution concentrée de chlorure de cuivre une dissolution renfermant $0^g,032$ d'or, on a obtenu les résultats suivants :

Lame de platine avant l'exp.....	$0^g,224$
Id. après l'exp.....	0,255
Or retiré.....	0,031
Perte d'or.....	0,001

Cette perte d'or peut provenir ou des manipulations ou du passage d'une petite quantité de la dissolution à travers les parois du diaphragme.

L'or et le fer, l'or et le plomb, peuvent être séparés de la même manière ; mais si les dissolutions contenaient en même temps un certain nombre de métaux, les principes mis en usage pour opérer la séparation de l'or du cuivre, du plomb ou du fer, serviraient encore. A cet effet, on préparerait une dissolution des trois premiers métaux dans les mêmes proportions, de manière à avoir une dissolution à peu près de même densité que la première, et l'on disposerait l'expérience comme ci-dessus, en opérant avec un couple platine et cuivre, attendu que le courant qui résulterait de la réaction de la dissolution d'or sur le cuivre donnerait naissance à un courant qui n'aurait que la puissance nécessaire pour décomposer le chlorure d'or.

OSMIUM.

Densité, environ.....		10.
Poids atomique....	O = 100.....	1244,49
	2 H = 1.....	99,72

L'osmium obtenu par la réduction électro-chimique avec le mercure est très-combustible ; car, allumé en un point, il continue à brûler en formant de l'acide osmique qui se volatilise sans laisser de résidu.

IRIDIUM.

Ce métal se trouve, comme ce dernier, dans le minerai de pla-

tine. Le minerai de Nischne-Tagilsk, dans l'Oural, en renferme jusqu'à 3 et 5 pour cent. On le considère comme un des corps les plus réfractaires de la nature; et on n'est parvenu à le fondre qu'en en exposant un fil à l'action de la décharge d'une puissante batterie électrique. Children, auquel on doit cette expérience, l'a obtenu ainsi en globules blancs, très-brillants, quoique encore un peu poreux.

Densité, suivant Children		18,68
Id. du métal pulvérulent (M. Berzelius)		15,683
Poids atomique	O = 100	1233,50
	2 H = 1	98,84

PLATINE.

Densité entre		21 et 22
	Wollaston	21,53
	Klaproth	21,74
	M. Berzélius	21,45
Chaleur spécifique (Dulong)		0,0314
Id. laminé (Regnault)		0,03243
Poids atomique	O = 100	1233,50
	2 H = 1	98,84

Il est infusible à la chaleur ordinaire des fourneaux, même en employant le feu de forge; mais il se ramollit et devient susceptible d'être brasé. Les fils de platine, même d'un assez fort diamètre, sont néanmoins fondus quand on les introduit dans le circuit d'une pile voltaïque à grande surface. Ils fondent encore quand on les place dans une flamme alcoolique alimentée par un courant de gaz oxygène, ou bien quand ils sont soumis à celle d'un chalumeau à gaz oxygène et hydrogène. Quand le platine est fondu, si la température est convenable, il entre en ébullition, et lance des étincelles comme du fer qui brûle. En employant l'éther, en place d'alcool, on parvient à fondre de gros fils de platine et à obtenir des globules de métal gros comme des pois.

On fond encore le platine avec une pile de 10 éléments de 2 décimètres de côté, en prenant pour électrode un morceau de charbon bien cuit, refroidi dans le mercure, et, pour l'autre électrode, le fil de platine soumis à la fusion.

Le platine en éponge, ainsi que le rhodium et le palladium, possède la propriété remarquable d'enflammer le gaz hydrogène; nous traiterons de cette propriété dans un chapitre à part.

Le métal prend la même forme cristalline que l'osmium, l'iridium et le palladium, et est isomorphe avec ces corps.

Les dissolutions de platine sont facilement décomposées au moyen des appareils électro-chimiques, en raison de la faible affinité de ce métal pour l'oxygène.

On emploie le platine précipité tumultueusement sur le cuivre pour donner plus d'activité aux couples voltaïques, à courant constant, composés de zinc amalgamé et de cuivre. M. Smée, auquel est due cette amélioration, est parti de ce principe, que la surface négative d'un couple laisse échapper avec d'autant plus de facilité l'hydrogène qu'elle est plus recouverte d'aspérités; et par contre, que plus cette surface est polie, plus l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau à la surface s'oppose à toute décomposition ultérieure de l'eau, en mettant obstacle à la circulation du courant; fait que M. de la Rive a mis dernièrement en évidence. Pour disposer convenablement les lames négatives, suivant ce principe, M. Smée rend leur surface rugueuse en les recouvrant électro-chimiquement d'un dépôt pulvérulent de platine, qui adhère assez fortement pour remplir le but proposé.

PALLADIUM.

Il est presque aussi réfractaire que le platine; mais il peut être brasé plus facilement. Son aspect est le même que celui du platine; il est très-malléable.

Densité (fondu)		11,3
Id. (laminé)		11,8
Chaleur spécifique (Regnault)		0,05927
Poids atomique	O = 100	665,90
	2 H = 1	53,36

Il a peu d'affinité pour l'oxygène; à une certaine température, sa surface bleuit. En l'employant comme électrode positif, il ne s'oxyde pas non plus. Pour distinguer le palladium du platine, on fait sécher sur la surface du métal une couche d'une solution alcoolique d'iode. Si le métal est du palladium, la surface se noircit, tandis qu'elle conserve son éclat métallique si c'est du platine.

Les protochlorure et deutochlorure de palladium sont facilement décomposés par l'action voltaïque.

RHODIUM.

Densité (Wollaston).....		11
Poids atomique....	O = 101.....	651,39
	2 H = 1.....	52,20

Une de ses propriétés est d'être attaqué par l'eau régale quand il est allié avec le cuivre, le bismuth, ou le plomb, tandis qu'il est insoluble quand il est allié à l'or ou à l'argent; il faut donc que, dans ce dernier cas, il devienne trop négatif pour être attaqué par l'eau régale, ou bien que l'alliage ait trop de cohérence.

Aucune expérience n'a été faite sur la décomposition de ses sels par les forces électriques.

ARGENT.

Ce métal se trouve dans la nature, tantôt à l'état métallique, sous la forme de cristaux, de végétations, de pépites, qui ont quelquefois un poids considérable; tantôt combiné avec l'or, l'antimoine, le mercure, le plomb, le soufre, le chlore.

Densité, varie de.....		10,474 à 10,542
Chaleur spécifique.....		0,0557
Poids atomique.....	O = 100.....	1351,61
	2 H = 1.....	108,30

L'argent se fond à une température moins élevée que l'or et le cuivre; au foyer d'un verre ardent, il entre en ébullition. Cependant, quand la surface du métal est polie, il n'entre pas en fusion, parce que la surface brillante réfléchit les rayons calorifiques qui ne peuvent être absorbés.

Quand on obtient ce métal dans les appareils électro-chimiques, il cristallise, suivant la force du courant, en paillettes, en dendrites, et en cristaux dérivant du cube. Toutes les dissolutions d'argent sont facilement décomposées par les courants électriques. Lorsqu'on soumet à l'action d'un courant une dissolution d'un mélange de nitrate d'argent et de nitrate de cuivre, il s'opère un phénomène remarquable : à mesure qu'on augmente la proportion de nitrate de cuivre, le dépôt d'argent cesse d'être cristallisé; il devient floconneux, tuberculeux, ayant la forme d'un champignon, dont les parties sont dans un tel état de division, qu'il est difficile de les réunir. Il semble résulter de là que la quantité de nitrate de cuivre, à mesure qu'elle augmente dans la solution, exerce une action attractive sur les particules

d'argent, à l'instant où elles se déposent sur la lame négative, de manière à empêcher les molécules de se rassembler. Nous donnons ici des résultats qui indiquent les proportions dans lesquelles les sels doivent se trouver pour que le phénomène ait lieu; un voltaïmètre faisait partie du circuit :

voltaïmètre.	une part. atomique de nitrate d'argent.	part. atomique de nitrate de cuivre.	poids du précipité.	
1	$0^g,1$	»	0,0070	argent.
2	id.	2	0,0070	
3	id.	4	0,0080	
4	id.	8	0,0060	précipité pulvérulent.
5	id.	16	0,0060	précipité très-floconneux, présentant de larges tubercules qui finissent par couvrir le fond de la capsule.
6	id.	32	0,0065	

Voici un fait digne d'attention que nous devons mentionner à cause de son origine électro-chimique. M. Darcet avait laissé, dans une armoire, une lame d'acier, pendant huit ans, en contact par un de ses bouts avec une solution de nitrate d'argent, qui sortait très-lentement par une fissure d'un vase qui renfermait cette dissolution. Une moitié de cette lame s'est changée entièrement en argent très-pur, sans la moindre trace de fer, et présentait une masse résistante. Cet effet remarquable est du même ordre que celui relatif à la transformation du bronze en protoxyde de cuivre, comme il en sera ultérieurement question. Expliquons le fait.

Dès l'instant que la dissolution d'argent est en contact avec le fer, il y a réaction de l'un sur l'autre; l'oxyde de fer se combine avec l'acide nitrique, et l'argent se dépose sur le fer non attaqué; il en résulte, dès lors, un couple voltaïque dans lequel l'argent est l'électrode négatif, c'est-à-dire, l'élément sur lequel doivent se déposer les molécules d'argent provenant de la décomposition ultérieure du nitrate; or, si cette décomposition est excessivement lente, comme dans le cas actuel, le transport et le dépôt de ces molécules seront de même extrêmement lents, et rien ne s'opposera alors à ce que la force de cohésion, s'exerçant librement, donne à la masse du précipité d'argent la consistance, et même la dureté d'une barre d'argent. Règle générale : toutes les fois qu'un courant agit lentement, il y a groupement régulier des molécules transportées quand elles peuvent prendre l'état solide. Les cristaux qui en résultent ont une telle dureté qu'ils peuvent s'étendre sous le marteau,

et présenter toutes les propriétés physiques que possèdent les métaux fondus. Telle est la puissance des forces électriques, que, en les employant convenablement, on peut liquéfier les molécules des corps, les gazéifier, les séparer de leurs combinaisons, les rassembler, les unir comme pourrait le faire la force de cohésion, les faire entrer enfin dans de nouvelles combinaisons : effets qui montrent combien est général le rôle qu'elles doivent jouer dans la nature.

MERCURE.

Ce métal se trouve à l'état natif ou combiné avec le soufre, et forme alors le cinabre; quelquefois il est à l'état de chlorure et de séléniure. Il est liquide à la température ordinaire, se solidifie à une température de 40° au-dessous de zéro, et cristallise en octaèdres réguliers. Il est alors malléable, mou, et rend un son sourd comme le plomb. A l'instant de se solidifier, il se contracte fortement.

Densité (Cavendish et Brisson)		13,568
— Biddle		13,613
— Keppler.	à + 4°	13,5886
	+ 17°	13,5569
	+ 20°	13,535
— Mercure congelé (Schulze)		14,391
— En vapeur (Dumas)		6,976
Chaleur spécifique (Dulong et Petit).	entre 0 et 100°.	0,0330
	entre 0 et 300°.	0,0350
Poids atomique	O = 100	1265,82
	2 H = 1	101,43

Quand on fait passer la décharge d'une forte batterie électrique à travers un petit globule de mercure, ce globule est lancé de toutes parts. Le métal s'oxyde et forme des étincelles rouges.

Les amalgames de mercure, entre autres ceux d'étain et de zinc, sont employés pour exciter la puissance électrique des plateaux de verre, dans leur frottement contre les coussins de la machine. Le mercure est employé avec un grand avantage pour opérer la réduction du potassium, du sodium.

Le mercure est facilement réduit de ses composés en plaçant ceux-ci sur une feuille de platine, y ajoutant une goutte d'acide nitrique ou chlorhydrique, et appliquant dessus un morceau de zinc ; le couple voltaïque zinc et platine agit aussitôt sur le composé, le mercure s'amalgame avec le platine, et même se combine en partie avec le zinc.

Nous citerons parmi les composés sur lesquels on peut opérer, les oxydes noirs et rouges, le sous-sulfate, le cyanure, etc. Quant au sublimé, si une goutte de sa solution est placée sur une face brillante de cuivre, celle-ci devient d'un blanc grisâtre; mais en employant le zinc mis en contact avec le cuivre, le mercure est réduit sur-le-champ à l'état métallique, et le cuivre devient blanc.

On opère avec plus d'avantage dans un petit creuset de platine et un morceau de zinc. Le mercure réduit donne au platine une couleur blanche brillante, et se combine en partie avec le zinc, qui devient cassant. On lave, on sèche le creuset, on le recouvre d'une lame de verre, et on chauffe avec une lampe à alcool. Le mercure se volatilise et se condense en une poudre blanche extrêmement fine, que l'on transforme par le frottement en gouttelettes. Quant au protochlorure de mercure, on mêle une petite quantité du composé avec quelques gouttes d'acide nitrique étendu; on fait bouillir un instant le tout dans le petit creuset de platine; on y ajoute un peu d'eau et on opère comme ci-dessus.

Voici encore un autre procédé d'un emploi facile, et qui est dû à M. Smithson. On met sur une lame d'or le composé de mercure avec une goutte d'acide chlorhydrique et un morceau d'étain; il se forme aussitôt un amalgame d'or qui masque la couleur de ce métal. Quand on opère avec le sublimé, il est inutile d'ajouter de l'acide.

CUIVRE.

Ce métal, très-répandu dans la nature, tantôt se trouve cristallisé en cubes ou en cristaux qui en dérivent, tantôt combiné avec l'oxygène, le soufre, tantôt à l'état de sulfate, d'arséniate, de phosphate ou de silicate.

C'est un des métaux les plus malléables; on le réduit en lames très-minces, et on le tire en fils très-fins. Il fond à environ 1091° du thermomètre à air. Il cristallise par refroidissement; mais, dans ce cas, suivant M. Seebeck, les cristaux dérivent du système rhomboédrique, tandis que les cristaux naturels ou ceux obtenus par la voie humide appartiennent au système régulier. Cette différence dans le mode de cristallisation est à prendre en considération, quand on cherche à remonter aux causes qui ont concouru à sa formation dans les gîtes métallifères.

Le cuivre renfermant fréquemment des cavités, sa densité doit varier avec l'état moléculaire.

Densité : cuivre fondu		8,85
—	laminé ou forgé	8,95
—	(d'après Brisson)	8,78
—	rosette	8,843
—	tiré en cylindre	8,9463
Chaleur spécifique (Dulong et Petit)		0,0949
Poids atomique	O = 100	395,70
	2 H = 1	31,71

Pour mettre à nu le cuivre qui se trouve, même en petite quantité, dans une solution, il suffit d'en placer une goutte sur une lame de platine, et d'établir le contact avec un morceau de zinc; celui-ci est attaqué aussitôt, et le cuivre apparaît sur le platine. Quant aux composés insolubles, on y ajoute une petite quantité d'acide chlorhydrique ou azotique. Quand la surface du précipité est terne, il suffit d'un léger frottement pour voir l'aspect du cuivre. Ce métal est toujours employé concurremment avec le zinc pour la composition d'un couple voltaïque. Mais quand on veut avoir une action forte, il faut disposer la surface pour que le gaz hydrogène n'y adhère pas; à cet effet, on la recouvre, comme nous l'avons déjà dit, d'un précipité électro-chimique de platine qui rend sa surface rugueuse. Nous reviendrons sur cette préparation dans la galvano-plastie.

URANIUM.

M. Péligot a obtenu ce métal en partie à l'état de poudre noire, en partie à l'état aggloméré; il est parvenu à façonner des plaques et des fils d'un aspect comparable à celui de l'argent, qui peuvent être limés et sont doués d'une certaine malléabilité.

Poids atomique (Péligot)	O = 100	750
	2 H = 1	93,63

BISMUTH.

Le bismuth se trouve presque toujours à l'état métallique, cependant il se montre quelquefois combiné avec le soufre et le tellure. Il a beaucoup de ressemblance avec l'antimoine; mais, comme il a un reflet rougeâtre et que sa texture offre une cristallisation plus prononcée, on distingue facilement ces deux métaux à la vue. La forme primitive de ce métal est l'octaèdre régulier; il est plus fusible que le

plomb, car il fond à 246°, et sa température augmente jusqu'à 264° avant de se solidifier.

Densité		9,83
— après avoir été comprimé		9,8827
Chaleur spécifique (Dulong et Petit)		8,0288
Poids atomique	O = 100	886,92
	2 H = 1	71,07

On doit à Sérullas un moyen très-simple à l'aide duquel on peut reconnaître la présence du bismuth dans un alliage dont le potassium fait partie. On jette sur un bain de mercure aqueux un alliage de potassium et du métal renfermant le bismuth; l'alliage tourne aussitôt rapidement, et il se forme sur la surface une pellicule légère de bismuth divisé, renfermant entre ses parties des bulles d'hydrogène extrêmement fines, et qui est attirée avec une grande promptitude par les substances métalliques mises en contact avec le morceau sur lequel les fragments d'alliage sont en mouvement. Cette pellicule est attirée vivement vers le pôle positif quand les deux conducteurs touchent l'eau du bain. Sérullas a encore remarqué que lorsque l'on place une tige métallique au milieu ou en un point quelconque du bain de mercure, dans l'action dont il vient d'être question, cette tige attire l'eau du bain, qui s'élève au-dessus du niveau. Un douzecentième de bismuth dissous dans le mercure peut être rendu visible par l'addition d'une certaine quantité d'amalgame de potassium et d'un peu d'eau; on voit aussitôt s'élever du sein de la masse une poudre noire, mélange de bismuth et de mercure très-divisé, qui vient se placer à la surface, ou qui adhère aux parois du vase. Sérullas a avancé qu'il n'existait aucun réactif aussi sensible pour aucun corps, que l'amalgame de potassium, pour reconnaître la présence du bismuth dissous dans le mercure.

ÉTAIN.

L'étain ne se trouve pas à l'état natif; rarement on le rencontre uni au soufre; mais c'est ordinairement combiné avec l'oxygène qu'il se présente à nous. Ce métal est d'un blanc argentin, très-mou et très-malléable; quand on le ploie, il fait entendre un cri particulier qui le caractérise. Il fond à 228°, et sa température augmente au moment de sa solidification. Par un refroidissement lent, il cristallise régulièrement, et se volatilise lentement à une haute température, hors du contact de l'air.

Densité		7,285
— après avoir été laminé		7,293
Chaleur spécifique (Petit et Dulong)		0,0514
Poids atomique.	O = 100	735,29
	2 H = 1	58,92

On peut reconnaître la présence de l'étain dans un alliage, par le même moyen que celui employé pour le bismuth.

PLOMB.

Le plomb est très-abondant dans la nature; il se trouve en combinaison avec un grand nombre de corps, mais principalement avec le soufre; il constitue alors ce qu'on appelle *la galène*. Ce métal a une couleur grise qui le caractérise, et a beaucoup d'éclat quand il n'a pas été refroidi trop brusquement. Il est mou et peut être laminé; mais il est doué en général de peu de ténacité; il fond à 322°,25, d'après Creigton, à + 322 d'après Kuppfer.

Densité		11,445
Elle n'augmente pas par le martelage.		
Chaleur spécifique (Petit et Dulong)		0,0293
Poids atomique.	O = 100	1294,50
	2 H = 1	103,73

On a un moyen très-simple pour reconnaître la présence du plomb dans une dissolution, et même le retirer entièrement sans qu'il en reste aucune trace.

On prend un tube en U préparé comme il a été dit, et dans chacune des branches duquel on verse un liquide. Dans la branche positive se trouve une solution d'un sel de plomb et une lame de platine; dans l'autre, de l'eau acidulée et une autre lame de platine; ces lames communiquent avec un appareil voltaïque composé de plusieurs éléments. L'oxygène provenant de la décomposition de l'eau, en arrivant sur la lame positive, fait passer le protoxyde à l'état de peroxyde, qui, ne pouvant plus rester en combinaison avec l'acide, se dépose en lamelles sur la lame et finit par la recouvrir entièrement; mais on peut la détacher facilement. On parvient ainsi à enlever tout le plomb.

CADMIUM.

Ce métal est retiré jusqu'ici des minerais de zinc; il a la couleur de l'étain, il est brillant et susceptible d'un beau poli. Il cristallise

en octaèdres. On le plie avec facilité. Il se laisse limer, couper, et tache comme le plomb les corps qui le touchent.

Densité, quand il est fondu.....		8,604
— quand il a été martelé.....		8,6944
Chaleur spécifique (M. Regnault).....		0,05669
Poids atomique....	O = 100.....	696,77
	2 H = 1.....	55,32

Ce métal peut être employé en électro-chimie aux mêmes usages que le zinc.

ZINC.

Ce métal existe dans la nature combiné avec le soufre et constitue la blende, ou bien uni à la silice et à l'acide carbonique; sa couleur est le blanc éclatant tirant sur le bleu. Il cristallise par un refroidissement lent en prismes à quatre faces, ou en prismes plats à six pans. Il est peu flexible; en le brisant, il montre une cassure cristalline. On peut le forger à la température de l'eau bouillante, et même jusqu'à 150°. Il redevient cassant à 205°, et on peut alors le réduire en poudre dans un mortier échauffé au même degré. Cette poudre est employée avec avantage dans diverses préparations électro-chimiques. On n'a pas encore déterminé le point de fusion du zinc : M. Daniell le porte à 412°.

Densité du zinc fondu.....		6,862
— forgé.....		7,215
Chaleur spécifique (Petit et Dulong).....		0,0927
Poids atomique.	O = 100.....	403,23
	2 H = 1.....	32,31

Le zinc est le métal par excellence pour la production des courants électriques dans les appareils simples ou composés. L'action vive que ce métal éprouve de la part de l'eau acidulée le rend très-précieux pour cet usage; mais il n'est pas indifférent d'employer le zinc pur ou le zinc allié, comme l'a reconnu M. de la Rive. Le zinc pur est peu attaqué par l'eau acidulée, tandis que le zinc qui renferme du fer ou un autre métal, se trouve composé d'une infinité de petits couples voltaïques, sur lesquels l'eau acidulée réagit; dans le premier cas, le gaz hydrogène reste en partie adhérent à la surface du métal. Le zinc impur fonctionne non-seulement avec de l'eau acidulée dans les appareils électro-chimiques simples ou composés, mais encore avec de

l'eau plus ou moins saturée de sel marin. On régularise l'action de l'eau acidulée ou de l'eau salée sur le zinc impur, en amalgamant la surface. (Voir *Zinc amalgamé*, p. 71.) On emploie ordinairement les dissolutions salées quand on veut des actions lentes; en élevant la température de la solution jusqu'à 80 ou 90°, on a un courant énergique, non-seulement parce que la solution conduit mieux, mais encore parce que le zinc est plus fortement attaqué.

NICKEL.

Ce métal est assez rare dans la nature; on le retire du nickel arsenical, qui est composé d'arsenic, de fer, de cuivre et de cobalt; de plus, on le rencontre presque toujours dans les pierres météoriques, dont il est un des principes constituants. Sa couleur est le blanc argentin; il est très-ductile à chaud et à froid; il est presque aussi réfractaire que le manganèse.

Densité (Richter)		8,279
— après avoir été forgé		8,666
Chaleur spécifique (Petit et Dulong)		0,1035
Poids atomique.	O = 100	369,68
	2 H = 1	29,62

Ce métal est presque aussi magnétique que le fer; il perd sa polarité vers 350°. Moins altérable que le fer, il serait plus convenable à la construction des aiguilles de boussole, s'il était plus abondant. On obtient cristallisé le nickel en décomposant son sulfate dans les appareils électro-chimiques simples.

COBALT.

Ce métal se trouve combiné avec l'arsenic et le soufre, et forme ce qu'on nomme le cobalt gris. Il est combiné avec le fer et l'arsenic dans le cobalt arsénial. On le trouve quelquefois à l'état d'oxyde et d'arséniate. Le cobalt obtenu par les anciens procédés n'est jamais complétement exempt de nickel. On n'a étudié ses propriétés que dans ce dernier cas. Sa couleur est grise, mais plus blanchâtre que celle du fer; on le regarde comme assez réfractaire, car il ne se fond qu'à 130° du pyromètre. Il cristallise par refroidissement en prismes irréguliers.

Sa densité est susceptible de varier, suivant sa composition, de 8,538 à 8,7.

M. Berzélius a trouvé, pour la densité d'un morceau de cobalt pur..... 8,5131

Chaleur spécifique (Dulong et Petit)..... 0,1498

Poids atomique. { O = 100..... 369,68
{ 2 H = 1..... 29,62

Ce métal est magnétique, même lorsqu'il est exempt de fer; allié à une très-petite quantité d'arsenic, il perd sa propriété. Quoiqu'il soit magnétique, il n'aquiert qu'une faible polarité, qui, d'après M. Pouillet, n'est point détruite par la température rouge la plus intense. On l'obtient cristallisé dans les appareils électro-chimiques simples.

FER.

Ce métal est très-répandu dans la nature, non-seulement dans les minéraux qui en renferment presque tous, mais encore dans le règne animal et végétal; très-rarement on le trouve à l'état métallique. Son point de fusion est, suivant Daniel, à 1530° du thermomètre à air.

Densité du fer en barres..... 7,8439

— en lames très-minces... 7,6

— moyenne..... 7,7

Chaleur spécifique..... 0,1100

Poids atomique. { O = 100..... 339,21
{ 2 H = 1..... 27,18

Quand le fer est pur, sa couleur est le blanc argentin, sa cassure est écailleuse, conchoïde et parfois cristalline. Le fer jouit, comme l'on sait, de la propriété magnétique à un haut degré, qu'il partage avec le nickel et le cobalt.

Plusieurs minerais de fer, particulièrement les oxydes, ainsi que diverses combinaisons de ce métal avec le carbone, le soufre et le phosphore, jouissent de la propriété de conserver le magnétisme qu'on leur fait acquérir. Il ne faut pas pour cela que ces combinaisons renferment une trop forte proportion de ces différents corps; car elles perdent alors non-seulement la propriété de conserver le magnétisme, mais encore d'être attirées par l'aimant.

On obtient facilement le fer cristallisé ou en tubercules cristallins dans les appareils simples avec la dissolution de proto-sulfate de fer.

Servons-nous du tube en U, préparé avec de l'argile. Dans l'une des branches, on met une solution de proto-sulfate de fer, et dans l'autre une solution de chlorure de sodium; puis l'on plonge dans cha-

cune d'elles une lame de platine, mise en communication, la première avec le pôle négatif d'une pile à courant constant, composée de deux ou trois éléments; la seconde, avec le pôle positif. On règle l'action décomposante, de manière que le dégagement d'hydrogène soit à peine sensible. La soude et l'hydrogène, en se rendant dans la branche négative, y opèrent les changements suivants: l'alcali, en se combinant avec une partie de l'acide sulfurique, donne naissance à un double sulfate de fer et de soude, tandis que l'hydrogène réduit l'oxyde de fer; l'action étant lente, le fer ne se précipite pas tumultueusement, il se dépose sur la lame négative, tantôt sous la forme d'une couche composée de petits cristaux qui lui donnent un aspect chatoyant, tantôt sous celle d'un métal fondu, tantôt enfin sous celle de tubercules arrondis, plus ou moins cristallins. Dans tous les cas, le dépôt possède la polarité magnétique, à un degré assez marqué, qui, en raison de la pureté du fer, ne peut être attribuée qu'à la solution de continuité existant entre toutes les parties déposées. Ainsi, les solutions de continuité dans ce cas-ci remplacent le carbone dans l'acier. Le proto-chlorure fournit la plupart du temps un précipité uniforme sur toute la lame, tandis que le proto-sulfate donne assez ordinairement naissance à de petits tubercules. Dans ces deux cas, le fer, au contact de l'air, s'oxyde avec une assez grande rapidité.

On obtient les mêmes effets avec l'appareil simple, c'est-à-dire, le tube en U, disposé comme il a été dit, avec cette différence que l'on remplace par une lame de zinc la lame de platine qui se trouve dans la solution de sel marin. Les deux lames sont mises ensuite en communication.

MANGANÈSE.

Ce métal existe en grande quantité, surtout à l'état de peroxyde; il est le principe constituant d'un grand nombre de substances organiques; on le trouve dans les plantes, comme les cendres le prouvent. La couleur de ce métal est l'argentin tirant sur le gris; à l'air humide, il répand une odeur désagréable comme celle qu'exhale la fonte quand on la dissout dans l'acide sulfurique étendu.

	Densité.....	8,013
Poids atomique.	O = 100.....	345,89
	2 H = 1.....	27,72

M. Pouillet a annoncé que depuis — 20° jusqu'à + 20°, le manganèse prend et conserve la polarité magnétique, et qu'il la perd sans

retour au-dessus de cette dernière température. En électro-chimie, on ne fait usage que du peroxyde de manganèse, qui est électro-négatif dans son contact avec tous les autres métaux, même avec l'or et l'argent. Cet état électrique est facile à expliquer. Le peroxyde perd facilement de l'oxygène pour s'hydrater, de telle sorte qu'en le mettant en contact avec un métal et le touchant avec le doigt, il abandonne de l'oxygène, qui en se dégageant emporte l'électricité négative, et laisse au peroxyde et par suite au métal l'électricité positive. Le peroxyde étant très-bon conducteur, peut servir, étant appliqué sur des substances non conductrices, pour y déposer électro-chimiquement des métaux. On se sert également de cette poussière pour la construction des piles sèches.

La présence du manganèse peut être reconnue facilement dans une dissolution au moyen des courants électriques, et on peut même en retirer ce métal sans qu'il en reste aucune trace. La méthode employée est la même que pour reconnaître le plomb. Elle est fondée sur cette propriété, qu'il n'existe aucun sel soluble renfermant le manganèse à l'état de peroxyde.

CERIUM.

Il existe dans la nature combiné avec l'oxygène. Ce métal est difficile à obtenir à l'état métallique; on l'a eu jusqu'ici en petits grains, dont les propriétés ont servi à caractériser ce métal, qui est gris, cassant et plus dur que la fonte.

Poids atomique.	O = 100.....	574,70
	2 = 1.....	46,05

On a encore fait peu d'expériences sur la réduction de ces oxydes au moyen de l'électricité; nous savons seulement qu'avec la grande batterie de Children, composée de 22 paires doubles, de deux mètres de haut, ces oxydes ont été réduits et le métal volatilisé.

Des états différents sous lesquels les métaux sont réduits par l'action des courants.

Après avoir exposé tout ce qui concerne les propriétés électro-chimiques des métaux, nous devons revenir sur les causes générales en vertu desquelles un métal est réduit en poudre, se présente sous la forme de cristaux ou en couche solide. Ces différents états sont importants à connaître, pour quiconque s'occupe des applications de

l'électro-chimie aux arts ; aussi devons-nous nous y arrêter quelques instants.

L'intensité du courant et la densité de la dissolution, comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, sont les causes générales d'où dépend l'état moléculaire d'un précipité métallique. Ce précipité peut être dur, cassant comme de l'acier, mou et flexible comme le plomb, posséder des qualités intermédiaires, ou bien être formé de parties plus ou moins cohérentes. Si le courant a une forte intensité et qu'il y ait un dégagement abondant d'hydrogène sur la lame où s'opère la réduction, alors le métal est précipité sous la forme de poudre noire. Le métal cristallise quand le dégagement d'hydrogène n'est pas appréciable ; les dimensions des cristaux formés dépendent, en outre, de conditions que nous indiquerons plus loin, mais entre autres d'une faible action.

Si l'on veut obtenir le métal à l'état de couche, ou de dépôt cohérent, il faut donner au courant une intensité suffisante pour que l'hydrogène soit sur le point de se dégager. Rien n'est plus facile que de remplir ces trois conditions, puisqu'il suffit d'observer la lame négative pour voir s'il y a ou non dégagement d'hydrogène, et si le dégagement est abondant ou à peine sensible. On règle en conséquence l'intensité du courant, qu'il faut toujours prendre en considération ; mais, comme nous l'avons avancé, la saturation plus ou moins grande de la dissolution concourt puissamment à modifier également l'état moléculaire. L'expérience, en effet, démontre qu'en opérant avec une dissolution presque épuisée et un très-faible courant, les molécules prennent de plus en plus de la cohérence. Suivant M. Smée, lorsque la quantité d'électricité en mouvement est faible, relativement à la force de la dissolution, l'électrode négatif semble recouvert de sable, tant la couche déposée offre peu de cohésion et de consistance ; tandis que lorsque la quantité d'électricité est hors de proportion avec le volume de la plaque, on obtient des cristaux ; c'est ainsi qu'en employant un électrode positif de grande dimension, mis en communication avec une forte batterie faiblement chargée et une dissolution concentrée, on obtient de gros cristaux très-résistants. Nous ajouterons qu'il en est encore de même en opérant avec un courant de faible intensité et une dissolution très-étendue.

M. Boquillon, qui a étudié avec soin, sur une grande échelle, les causes d'où dépend l'état moléculaire des précipités métalliques, a fait des observations plus précises que les précédentes et que nous croyons devoir consigner ici, en raison de l'intérêt qu'elles présentent.

Quand on applique un courant d'une certaine intensité à trois bains d'une même solution métallique, n'ayant pas la même densité, le premier complétement saturé, le deuxième moins, le troisième encore moins : le premier donne un dépôt dur et cassant, formé de très-gros cristaux; le deuxième, un dépôt plus flexible; le troisième, une masse spongieuse, formée de cristaux non agrégés, ou seulement une poudre noire. Emploie-t-on un courant moins fort, le troisième devient ce qu'était le deuxième, et le premier peut posséder les propriétés du deuxième. Il résulte de là, 1° qu'en augmentant la conductibilité de la solution, on peut, avec la même source d'électricité, modifier considérablement les propriétés physiques du dépôt; 2° que si, en conservant la même solution, on fait varier la source d'électricité de manière à fournir à la solution une plus grande quantité d'électricité dans un temps donné, on obtient les mêmes effets. Il est à regretter que l'on n'ait pas indiqué l'intensité du courant nécessaire pour obtenir avec une dissolution donnée un effet déterminé.

Pour avoir un dépôt constamment doué des mêmes propriétés physiques, il faut donc que le courant ait toujours la même intensité et que la dissolution soit au même degré de saturation. Pour être certain que le courant ne change pas, on place dans le circuit un multiplicateur, dont l'aiguille aimantée doit rester toujours dans la même position, ou un voltaïmètre qui sert à mesurer la quantité d'action chimique produite. Mais le premier moyen est préférable. Quant à conserver à la dissolution le même degré de saturation, on y parvient au moyen d'un expédient très-simple, quand le métal tenu en dissolution est facilement attaqué par l'acide avec lequel il est combiné : au lieu de prendre une lame de platine pour l'électrode positif, dans l'appareil décomposant, on y substitue un morceau de ce même métal, de sorte que l'oxygène et l'acide qui proviennent de la décomposition du sel métallique, reproduisant la même quantité de sels, la dissolution reste au même degré de saturation. D'un autre côté, la réaction chimique qui a lieu, augmentant l'intensité du courant, permet de n'employer qu'un seul couple voltaïque ou deux au plus, avantage précieux en industrie; tandis qu'avec la lame de platine il faut en employer un plus grand nombre.

Nous ferons observer cependant que pour qu'il y ait reproduction exacte au pôle positif de la quantité de sel décomposée au pôle négatif, il faut que l'acide n'éprouve pas lui-même une décomposition partielle; ce qui arrive quand le courant a trop d'énergie. Il est donc nécessaire d'en régler la force par différents essais.

La décomposition des sels d'argent, de fer, de plomb, d'étain et de cuivre, permet de se servir d'électrodes positifs de chacun de ces métaux. Avec les doubles cyanures d'or et de potassium, on peut en agir de même à l'égard de l'or. Il est bien entendu que le degré de réaction des éléments transportés sur l'électrode positif varie avec chaque sel du même métal. Pour arriver à une égalité d'action on y parvient soit en ajoutant à la dissolution métallique des acides plus ou moins oxydants, soit en élevant ou abaissant la température; une augmentation de température rendant le pouvoir conducteur de la dissolution plus grand et le métal étant plus attaqué.

Il faut donc avoir égard, selon l'état moléculaire que l'on veut obtenir, 1° à l'étendue de la surface de la pile; 2° au degré de concentration de la dissolution; 3° à la disposition des électrodes dans l'appareil de décomposition; 4° enfin à la température de la dissolution.

CHAPITRE V.

Des oxydes, sulfures, chlorures, etc., et autres composés métalliques.

Dans le chapitre précédent, il n'a été question que des propriétés physiques et des propriétés électro-chimiques des corps simples, et de quelques composés métalloïdiques, ainsi que des moyens de les obtenir au moyen des forces électriques. Il s'agit de résoudre la même question à l'égard des composés métalliques.

OXYDES.

Nous n'avons pas l'intention de décrire en particulier chaque oxyde, mais bien de faire connaître les méthodes électro-chimiques générales à l'aide desquelles on obtient cristallisés les oxydes, sans nous astreindre à suivre l'ordre des métaux, attendu que notre but est principalement de faire connaître l'esprit des méthodes. Un jour viendra où l'électro-chimie sera assez avancée pour que l'on puisse décrire méthodiquement tous les oxydes sous le point de vue où nous les considérons.

Lorsqu'on soumet une dissolution saline à l'action d'un courant voltaïque, les éléments du sel sont décomposés, l'acide se porte au pôle positif et l'oxyde au pôle négatif; mais si l'un et l'autre sont susceptibles d'être décomposés et que le courant soit suffisamment intense, la base est réduite à l'état métallique et les éléments de

l'acide sont séparés. Ordinairement les bases alcalines ou terreuses sont recueillies directement; c'est ainsi qu'on obtient la potasse, la soude, etc., etc.

De la potasse et de la soude.

Ces deux bases ayant la plus grande analogie, nous en parlerons simultanément, en nous attachant seulement aux appareils les plus simples que l'on puisse employer dans les opérations en grand, pour séparer ces substances des acides avec lesquels elles sont combinées. Les piles à couples nombreux ont un pouvoir décomposant considérable, en raison de l'intensité du courant; mais une partie de la force étant employée à décomposer l'eau, est perdue pour le but qu'on se propose. C'est un motif pour n'employer que la force nécessaire à la décomposition des sels; on y parvient en employant un appareil composé de trois capsules remplies d'eau salée marquant 8 ou 10° à l'aréomètre; la première communique avec la seconde, celle-ci avec la troisième au moyen de deux mèches d'asbeste. Dans la première plonge une lame de zinc, dans la troisième une lame de cuivre communiquant au moyen d'un fil de métal avec l'autre. Le zinc étant attaqué, il en résulte un courant dont l'action chimique transporte la soude dans la capsule où se trouve la lame du cuivre. Si l'on veut employer ce moyen dans les arts, il faut en agir ainsi pour que l'alcali ne se rende pas dans la capsule où est le zinc; car il se reformerait du sel marin par la décomposition du chlorure de zinc. Les mèches doivent être remplacées alors par des cordes de chanvre, placées dans des cylindres en bois recourbés, afin d'éviter l'évaporation de l'eau. On doit faire ces cordes très-courtes, afin de diminuer autant que possible la résistance qu'éprouve le courant. Il vaudrait peut-être mieux se servir de diaphragmes en argile, d'un centimètre ou deux d'épaisseur, et humectés d'eau salée. On a reconnu qu'en raison de la résistance qu'éprouve le courant l'on n'obtenait aucun avantage à réunir en pile plusieurs appareils simples. L'expérience a montré que, pour arriver à une décomposition complète du chlorure de sodium, il fallait opérer sur une solution peu concentrée.

Autre procédé pour séparer la potasse et la soude de leurs sulfates.

On répand une solution de sulfate de potasse sur une lame de fer nouvellement décapée; en s'oxydant aux dépens de l'eau et de l'air,

le fer prend l'électricité négative, l'eau l'électricité positive : il résulte de là que, l'action étant continue, on a un courant électrique, dirigé de telle manière que le fer est le pôle positif et l'oxyde formé le pôle négatif, et dont l'intensité suffit pour décomposer le sulfate de potasse. Le produit est de la potasse et du protosulfate de fer. La potasse se combine avec l'acide carbonique de l'air, et le sulfate forme un sel double avec le sulfate de potasse. Cette combinaison se détruit à mesure que le métal s'oxyde, et il se forme des sous-sulfates de peroxyde. On soumet ensuite la masse à des lavages successifs. La décomposition marche plus rapidement en opérant avec la limaille de fer que l'on humecte de temps à autre pour entretenir l'oxydation. La dissolution, qui acquiert assez promptement la faculté de rougir la couleur de curcuma, ne renferme aucune trace de fer. Dans une expérience où nous avons opéré avec 3 gr. de sulfate de potasse et 80 gr. de limaille de fer, un quart du sulfate a été décomposé dans l'espace de six jours ; l'action du fer cesse aussitôt que toute la surface a été oxydée.

Hydrate de chaux.

On obtient cet hydrate cristallisé avec l'appareil en U, dont les deux branches renferment de l'eau de Seine ou de l'eau contenant un peu de sulfate de chaux ; le fond du tube est fermé avec de l'argile humide ; et l'on plonge dans chaque branche une lame de platine en communication avec une pile composée de plusieurs éléments, faiblement chargée, afin de pouvoir fonctionner plus longtemps. L'eau et le sulfate de chaux sont décomposés ; l'eau dans la branche négative acquiert la propriété alcaline, et si l'on ferme cette branche avec soin, il arrive un instant où la cristallisation de l'hydrate de chaux s'effectue. Si l'on opérait avec une dissolution concentrée, il pourrait y avoir un dépôt tumultueux. Il est probable que l'on peut obtenir cristallisées de la même manière, les autres terres.

Du peroxyde d'argent.

L'argent est susceptible de deux degrés d'oxydation : l'oxyde ordinaire AgO obtenu en chimie, en précipitant une dissolution de ce métal par la potasse, et le peroxyde AgO^2 qui ne peut être produit qu'à l'aide d'un courant électrique. On l'obtient au pôle positif, en soumettant une dissolution de nitrate d'argent à l'action d'un courant, sous la

forme d'aiguilles *tétraédriques*, longues de trois ou quatre lignes, douées de l'éclat métallique ; en le traitant par l'acide chlorhydrique, une portion du chlore se dégage. Il détone sous le marteau en le mêlant au phosphore.

Oxydes de cuivre.

Pour obtenir le protoxyde on prend un tube fermé par un bout ; on met dedans de l'oxyde noir de cuivre ; on verse dessus du nitrate de cuivre qui ne tarde pas à humecter l'oxyde noir, et l'on plonge dans la solution, jusqu'au fond du vase, une lame de cuivre. On ferme ensuite le tube hermétiquement. Au bout de huit jours, quelquefois moins, cela dépend de la petitesse du diamètre du tube, on aperçoit sur la lame de cuivre de petits cristaux octaèdres ou dérivant de l'octaèdre régulier, d'un rouge de rubis. Ces cristaux augmentent peu à peu de dimensions, et finissent au bout d'un temps plus ou moins long, par avoir un ou deux millimètres de côté. Outre ces cristaux, il se dépose sur la lame du cuivre métallique en jolis cristaux octaèdres d'un grand éclat métallique. Quelquefois aussi, avant l'apparition du protoxyde, on aperçoit des points noirs de deutoxyde anhydre. Ce n'est pas tout encore : si le tube a un petit diamètre, que la quantité d'oxyde employée soit assez forte, on voit la solution de nitrate de cuivre se décolorer peu à peu, devenir limpide et incolore. Il se dépose alors sur la lame de cuivre des cristaux en aiguilles de nitrate d'ammoniaque. Tous ces résultats ne pouvaient pas être prévus par la théorie.

Voici l'explication des effets produits :

Lorsqu'une solution de nitrate de cuivre est en contact avec le deutoxyde de cuivre, celui-ci se change en sous-nitrate, ainsi que le nitrate, et la solution de nitrate devient de moins en moins saturée. Il résulte de là que la partie de la solution située au-dessus du deutoxyde de cuivre est toujours plus saturée que celle qui humecte le deutoxyde ; or la première en réagissant sur l'autre rend libre de l'électricité positive et l'autre de l'électricité négative.

Les deux électricités dégagées, pour se recombiner, suivent naturellement la lame de cuivre. Il en résulte donc un courant électrique continu, qui dure pendant plusieurs années, attendu que le nitrate de cuivre qui est décomposé dans la partie en contact avec l'oxyde noir, est remplacé difficilement par le nitrate placé au-dessus, surtout quand l'oxyde noir a été tassé. D'après la direction du cou-

rant, le bout de la lame qui est en contact avec le deutoxyde est le pôle positif, et la portion de la lame qui est en contact avec la solution supérieure est le pôle négatif. Or, comme le courant ne peut avoir qu'une faible intensité, il s'ensuit qu'il ne décompose qu'en partie le nitrate de cuivre; le deutoxyde de cuivre est ramené facilement à l'état de protoxyde, qui se dépose sur la partie négative, tandis que les éléments de l'acide nitrique réagissant sur ceux de l'eau qui est également décomposée, donnent naissance à de l'ammoniaque, qui se combine avec une partie de l'acide nitrique non décomposé, d'où résulte du nitrate d'ammoniaque.

Dans les premiers instants de l'opération, la différence entre la densité des solutions est très-petite. C'est alors que l'on voit apparaître le deutoxyde; vient-elle à augmenter, le protoxyde apparaît. Le liquide qui mouille le deutoxyde n'est-il plus que de l'eau, ce qui arrive quand le nitrate de la partie inférieure est décomposé, le courant a sa plus grande intensité, et c'est alors que se montrent les cristaux de cuivre métallique.

On voit donc que cette méthode, féconde en applications, donne des produits différents, par cela même que l'intensité du courant varie insensiblement, sans qu'on ait besoin d'avoir recours à des appareils particuliers.

La décomposition de l'eau n'est prouvée dans cette expérience que par la formation de l'ammoniaque.

Oxydes de plomb.

Nous avons à nous occuper du protoxyde PbO, du peroxyde anhydre PbO^2, ainsi que du peroxyde hydraté PbH^2O.

Il existe deux méthodes pour obtenir des cristaux de protoxyde de plomb.

Première méthode. On prend un tube de quelques millimètres de diamètre, fermé par un bout, et l'on met dans la partie inférieure de la litharge en poudre. On verse ensuite dedans une solution peu étendue de sous-acétate de plomb; on plonge dans cette solution une lame de plomb que l'on fait descendre jusqu'au fond du tube, puis l'on ferme hermétiquement celui-ci.

Peu à peu la lame de plomb se recouvre de petites aiguilles d'hydrate de plomb, et même de plomb métallique, en lamelles cristallines brillantes; enfin, quelquefois il se dépose également sur la même lame des cristaux présentant la forme de dodécaèdres à faces penta-

gonales, doués d'une grande limpidité, et qui ne sont autres que des cristaux de protoxyde anhydre, semblables à ceux qu'on obtient en laissant exposée à l'air, pendant un certain temps, une solution d'oxyde de plomb dans la potasse.

Les effets produits dans cette circonstance sont analogues à ceux qui se sont présentés dans la formation des cristaux de protoxyde de cuivre. Ainsi, on n'a pas besoin de revenir sur la théorie de leur formation.

On peut obtenir l'hydrate de peroxyde de plomb, comme nous l'avons montré (*Compte rendu de l'Académie des sciences*, séance du 3 juillet 1843).

L'appareil que nous avons employé se composait d'un bocal en verre, destiné à recevoir de l'acide nitrique, et d'un diaphragme en porcelaine dégourdie devant contenir une dissolution de protoxyde de plomb dans la potasse. Deux lames de platine servaient à établir la communication entre les deux liquides et un couple à courant constant. On peut, au lieu de diaphragme, se servir d'un tube préparé comme on l'a déjà dit, c'est-à-dire dont l'une des extrémités est fermée par un tampon d'argile et coiffée d'un linge.

On remplit le tube d'une dissolution concentrée de protoxyde de plomb dans la potasse; on verse de l'acide nitrique dans le bocal, et l'on ferme le circuit en réunissant les deux lames avec le couple à courant constant. L'acide nitrique est décomposé; l'oxygène est transporté sur la lame positive qui se trouve dans la solution alcaline, et, au lieu de se dégager, il réagit sur le protoxyde de plomb et le fait passer, non plus à l'état de peroxyde puce, mais bien à celui de peroxyde hydraté jaune, avec formation de lamelles de peroxyde anhydre, selon l'intensité du courant. Il faut que l'acide nitrique soit concentré, et que la réaction de l'acide sur l'alcali soit forte, condition que l'on obtient en employant une cloison d'argile peu épaisse. Le précipité, d'abord d'un beau jaune serin, prend, après avoir été lavé et séché à l'air, une teinte terne et ocreuse. Séché dans le vide, il reste toujours jaune; mais sa teinte n'est pas aussi belle que lorsqu'il se trouvait dans la potasse hors du contact de la lumière; il paraîtrait même que, dans les premiers instants de sa formation, la lumière réagit sur lui.

Quand il est très-sec, si on l'expose à l'action de la chaleur, il commence à perdre sa couleur jaune vers 30°; et si l'on continue à élever la température, il se change en peroxyde puce de plomb. Chauffé dans un tube, les parois de celui-ci se recouvrent de gouttelettes d'eau. D'après cela, le nouveau composé ne serait donc qu'un

hydrate de peroxyde. Les résultats de l'analyse ne laissent aucun doute à cet égard.

Si l'on verse dans un vase une solution de nitrate, d'acétate de plomb, ou autre composé de même métal, et qu'on y plonge deux lames de platine, en communication avec un appareil voltaïque, composé de quelques éléments seulement, en nombre suffisant pour décomposer l'eau et le sel de plomb; il y a d'abord, du côté négatif, séparation du plomb métallique; du côté positif, la lame se recouvre peu à peu d'une pellicule puce, c'est le peroxyde anhydre de plomb.

Oxyde de zinc.

Pour obtenir l'hydrate de zinc cristallisé, on prend deux flacons, l'un, renfermant une solution d'oxyde de zinc dans la potasse caustique, l'autre une dissolution saturée de nitrate de cuivre; puis on établit la communication entre les deux dissolutions, au moyen d'un tube de verre recourbé rempli d'argile humectée par une solution de nitrate de potasse. On plonge une lame de plomb dans la solution alcaline et une lame cuivre dans l'autre solution, puis l'on établit la communication entre les deux lames. On a alors un couple voltaïque : la solution alcaline réagit sur le plomb, par suite de la forte affinité de l'oxyde de plomb pour la potasse; dès lors on a un courant électrique dirigé de telle façon que le plomb est le pôle positif, le cuivre le pôle négatif. Ce courant a assez d'énergie pour décomposer le nitrate de cuivre; l'oxygène et l'acide nitrique se rendent dans la solution alcaline, où ils forment du nitrate de potasse et de l'oxyde de plomb, qui augmente la quantité de celui qui se forme par l'oxydation de la lame. Au moyen de ce transport, la potasse se sature peu à peu; l'oxyde de plomb, en raison de sa forte affinité pour la potasse excédante, exerce une action répulsive sur l'oxyde de zinc, qui, combiné avec un alcali, joue le rôle d'acide, et vient cristalliser sur la lame de plomb en prismes aplatis, disposés en roses.

Des peroxydes de fer et de manganèse.

La méthode pour obtenir le peroxyde de fer est la même que celle précédemment décrite pour le peroxyde de plomb, si ce n'est que l'on ne peut agir directement sur un sel de ce métal, attendu que son peroxyde se combine avec les acides; mais il n'en est pas de même à l'égard de la dissolution du protoxyde dans l'ammoniaque. En

effet, si l'on met dans la branche positive du tube en U la dissolution ammoniacale, et dans l'autre de l'eau acidulée par l'acide nitrique, l'une et l'autre en relation avec une pile composée de quelques éléments au moyen de deux lames de platine, la lame positive ne tarde pas à se recouvrir de peroxyde rouge de fer. Quant au peroxyde de manganèse, il s'obtient, de même que le peroxyde de plomb, en couches formées de parties non cohérentes et dont l'aspect est le même que celui que l'on trouve dans quelques substances minérales.

De la cémentation.

Il est impossible d'exposer l'oxydation de certains produits naturels dus à des actions lentes, en faisant intervenir l'action chimique de l'électricité, sans dire quelques mots de la cémentation considérée comme phénomène électrique. De nombreux exemples prouvent que dans ce cas les réactions ont lieu de la surface à l'intérieur jusqu'au centre, de proche en proche, sans que les corps perdent leur forme; ce qui toutefois ne peut avoir lieu qu'autant que des éléments sont transportés du dedans au dehors, tandis que d'autres éléments sont transportés du dehors au dedans. On ne voit que les forces électriques qui puissent opérer de semblables transports. Les affinités ne s'exerçant qu'à des distances infiniment petites, ne peuvent intervenir que pour commencer et non finir l'action. Nous entendons par cémentation l'action moléculaire au moyen de laquelle des éléments de différents corps sont introduits dans l'intérieur des corps, tandis que d'autres sont expulsés, et cela sans que le corps perde sa forme.

L'exemple le plus frappant que l'on puisse citer d'une cémentation naturelle, est, sans contredit, les pyrites aurifères de Sibérie, qui, sous l'influence des agents atmosphériques, ont perdu leur soufre, et ont pris à l'eau son oxygène pour se transformer en hydrate de peroxyde, en conservant leur forme. Les pyrites qui éprouvent cette transformation sont précisément celles qui renferment des quantités notables d'or dans un état de division extrême, et quelquefois disséminé çà et là en petits morceaux visibles à l'œil. Il est permis de croire, d'après cela, que le couple voltaïque or et persulfure de fer détermine l'action électro-chimique en vertu de laquelle s'opère le double transport dont il est question.

L'action commence d'abord à la surface; il se forme naturellement de l'hydrate de peroxyde de fer avec dégagement d'hydrogène sulfuré, ou seulement d'hydrogène avec dépôt de soufre. Les molécules du

nouveau composé sont probablement assez écartées pour laisser passer les éléments transportés par l'effet du courant résultant de l'oxydation de la couche placée au-dessous de celle qui est hydratée.

Exposons la théorie électro-chimique du phénomène qui joue un grand rôle dans la nature. Pour fixer les idées, nous prendrons pour exemple la cémentation en vertu de laquelle le fer, en se combinant avec le carbone à l'aide de la chaleur, se change en acier. On doit d'abord poser en principe que lorsqu'un corps éprouve les effets de la cémentation, il est indispensable que les interstices moléculaires livrent passage aux particules qui entrent et sortent, sans quoi le phénomène ne serait pas possible.

Maintenant, rappelons-nous les effets électriques produits dans les actions chimiques et en particulier dans la combustion du charbon, effets qui ont été décrits assez complétement pour qu'il soit inutile de les rappeler ici.

Soient, pl. XI, fig. 16, *ffff* une rangée d'un certain nombre d'atomes de fer, *f' f' f' f'* la rangée contiguë de molécules de même métal; *c c c c*, et *c' c' c' c'*, deux rangées contiguës de carbone. Dès l'instant que *f* et *c*, pour former de l'acier, se combinent ensemble, *ffff* laissent dégager de l'électricité négative, tandis que *c c c c*, jouant le rôle acide, dégagent de l'électricité positive. Il s'opère donc un courant électrique à l'aide des particules non encore combinées; or, les atomes composés *fc*, *fc*, *fc*, dont la température est au rouge, se trouvent évidemment dans un état d'équilibre instable à l'égard de *f' f' f' f'* et de *c' c' c' c'*, attendu que la force d'agrégation qui les unissait à ces derniers doit être très-affaiblie et même annulée; par suite de cette instabilité, *fc*, *fc*, *fc* peuvent donc exécuter certains mouvements oscillatoires autour de leur position d'équilibre, en obéissant à l'action du courant. Or, dès l'instant que *c c c* entrent dans la sphère d'activité de *f' f' f' f'*, et *fff* dans celle de *c' c' c'*, il en résulte une double combinaison de *c c c c* avec *f' f' f' f'*, et de *ffff* avec *c' c' c' c'*, au moyen de laquelle *c c c c* pénètrent dans l'intérieur du fer. En continuant le même raisonnement, on conçoit comment la seconde rangée d'atomes de carbone peut céder la place à une autre, et ainsi de suite. C'est alors que l'on aura deux atomes d'acier, l'un *f' c*, et l'autre *f c'*. Dans ce mouvement moléculaire, les états électriques des atomes doivent jouer un très-grand rôle, et en effet, *f* est électro-positif, *c* électro-négatif; *c f'* doit être nécessairement positif par suite de l'état électrique de *f*, avec lequel il est en contact; alors dans le mouvement d'oscillation, *f'* et *c* étant dans deux états électriques contraires qui caractérisent

l'état naissant, peuvent se combiner ensemble; il en est de même de f à l'égard de c'.

Il faut admettre que l'action de la chaleur communique aux molécules certaine mobilité; supposition très-admissible, puisque cette mobilité se trouve dans les molécules de quelques sels, comme le sulfate de zinc en est un exemple à une température de + 52°; elles perdent leur position naturelle d'équilibre, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que leurs molécules sont aptes à effectuer certains mouvements. Ainsi, rien ne s'oppose à ce que l'on admette ce mouvement moléculaire à de basses températures dans certains corps, à des températures élevées dans d'autres. Telles sont les données les plus rationnelles qui peuvent servir à la cémentation, en s'appuyant sur l'action des forces électriques.

Des chlorures et doubles chlorures métalliques.

Le procédé que nous allons décrire peut servir non-seulement à obtenir quelques chlorures métalliques, mais encore d'autres composés.

On sait que lorsque l'on met en contact une lame d'argent avec de l'acide hydrochlorique hors du contact de l'air, le métal n'est pas sensiblement attaqué. Maintenant, si l'on met en contact avec la lame d'argent un morceau de charbon ordinaire, traité préalablement par un acide, afin d'enlever l'alcali qui peut s'y trouver, ou un morceau d'anthracite qui est conducteur de l'électricité comme le charbon ou la plombagine, les choses changent : quand le contact s'établit entre l'argent et le charbon, la très-faible action que l'acide exerce sur l'argent donne naissance à un courant, dont l'action est telle que la lame d'argent est le pôle positif et le charbon le pôle négatif. Il résulte de là que l'action du courant augmente celle que l'acide exerce sur l'argent. Par conséquent, le chlore se porte sur l'argent par cette double action, et l'hydrogène sur le charbon. Le chlorure d'argent, au fur et à mesure qu'il se forme, cristallise en octaèdres, attendu que rien ne s'oppose au groupement régulier des molécules. L'hydrogène étant à l'état naissant, se combine avec le carbone qui, en raison de son état électrique, est également à l'état naissant. Si le tube est fermé, la tension du gaz devient bientôt suffisante pour le briser. Les cristaux de chlorure d'argent augmentent peu à peu; au bout d'un an ou deux, ils ont plusieurs millimètres de côté. Si l'on substitue une lame de cuivre à la lame d'argent, la réaction chimique faible résultant

du contact de l'acide avec le cuivre produit des effets électriques qui augmentent également l'énergie des affinités ; au bout de quelque temps, la lame se recouvre de cristaux de protochlorure de cuivre très-brillants, possédant une grande réfrangibilité. En continuant l'expérience hors du contact de l'air, la liqueur change de couleur ; elle devient brun foncé, et les cristaux ne sont plus visibles. Le carbone est alors attaqué, et il en résulte une combinaison qui n'a pas encore été examinée.

Avant de continuer l'exposé des combinaisons simples, nous sommes obligé de faire connaître les procédés à l'aide desquels on peut obtenir les doubles combinaisons, que la chimie n'a pas toujours la faculté de produire, parce qu'elle peut rarement faire réagir lentement les éléments les uns sur les autres dans les conditions voulues. Un tube recourbé en U est rempli dans sa partie inférieure d'argile préparée comme à l'ordinaire ; dans une des branches on met une solution de nitrate de cuivre, dans l'autre une solution de chlorure de sodium, puis l'on plonge dans chacune d'elles le bout d'une lame de cuivre ; on bouche les deux ouvertures. Par suite de la réaction des deux solutions l'une sur l'autre, et de la solution du chlorure sur le cuivre, il en résulte un double courant électrique dont la direction est telle, que le bout qui plonge dans la solution de nitrate est le pôle négatif de l'appareil. L'action du courant est suffisante pour décomposer le nitrate de cuivre; du cuivre se dépose sur l'extrémité négative; et comme l'action est très-lente, le métal cristallise. L'acide nitrique et l'oxygène transportés dans l'autre branche donnent une nouvelle énergie à l'une des réactions chimiques en vertu desquelles le courant est produit. Le bout cuivre qui se trouve dans la solution de chlorure tend avant tout à décomposer ce sel ; il se forme du protochlorure de cuivre qui se combine avec le chlorure de sodium. Peu à peu cette combinaison cristallise sur la lame positive en tétraèdres. Si l'on veut avoir des cristaux de deux à trois millimètres de côté, il faut laisser fonctionner l'appareil pendant longtemps ; le succès de l'expérience dépend de l'obstacle que l'on oppose au mélange des liquides contenus dans les deux branches du tube ; l'acide nitrique contribue à ces réactions en aidant à la décomposition du sel marin, puisque l'on retrouve du nitrate de soude. L'oxygène transporté dans la branche positive oxyde le sodium pour former de la soude et non le cuivre. La production du double chlorure cristallisé de cuivre et de sodium, ne s'opère que dans les circonstances que nous venons d'indiquer ; car avec un courant d'une cer-

taine intensité, les deux sels étant décomposés, la cristallisation ne saurait s'effectuer.

Les chlorures d'ammoniaque, de calcium, de potassium, de barium, de strontium, donnent avec le cuivre des produits analogues qui cristallisent en tétraèdres réguliers. Tous ces chlorures, il est vrai, ont la même composition atomique, c'est-à-dire qu'ils sont formés d'un atome de base et de deux atomes de chlore; par conséquent, ils doivent donner naissance à des composés isomorphes; ces doubles composés sont formés d'un atome de chacun des deux chlorures. Des lames d'argent et de plomb donnent également des combinaisons isomorphes avec les chlorures alcalins et terreux précédemment cités; quant aux autres métaux, tous ne donnent pas des produits semblables, attendu que la composition atomique n'est pas la même. Tel est le double chlorure de potassium et d'étain, qui cristallise en aiguilles prismatiques. Nous devons faire remarquer une circonstance importante qui a dû se reproduire pendant la cristallisation d'un grand nombre des substances minérales qui se trouvent dans les filons : pendant les premiers temps de la formation, les cristaux sont entiers; mais peu à peu, à mesure que la solution devient moins concentrée, il se forme des troncatures sur les angles. Autre méthode pour former les chlorures : au fond d'un tube on met du protochlorure de mercure, puis au-dessus de l'eau, et on plonge dedans une lame de cuivre qui ne tarde pas à s'amalgamer; il se forme en même temps du protochlorure de cuivre, qui cristallise en tétraèdres.

Des sulfures et doubles sulfures.

Les tubes en U, précédemment décrits, vont encore nous servir; mais, au lieu d'en employer un, on en réunira plusieurs pour en former une pile; à cet effet on fait communiquer le bout cuivre de la solution saline d'un tube, avec le bout cuivre de la solution de nitrate de cuivre de l'autre. Cette disposition est précisément celle d'une pile. Maintenant dans une des branches d'un tube, on met une solution de protosulfure de potassium; dans l'autre, une solution de nitrate de cuivre; puis on dispose les appareils comme il vient d'être dit, en plongeant dans la première solution une lame d'argent, et dans l'autre une lame de cuivre; en augmentant suffisamment le nombre des tubes et humectant l'argile avec la solution de nitrate de cuivre pour faciliter le passage du courant, celui-ci acquiert une telle intensité, qu'on est obligé souvent de diminuer le nombre des couples, si l'on ne veut pas

que toutes les combinaisons soient détruites. Avec un appareil composé d'une douzaine de tubes, au bout de cinq à six heures, on aperçoit des cristaux de cuivre sur les lames de cuivre, et sur la lame d'argent des cristaux octaèdres de sulfure d'argent.

L'appareil ayant fonctionné pendant quinze jours sans interruption, les lames d'argent ont été entièrement transformées en sulfure d'argent sans changer de forme; seulement leur volume était augmenté; et les cristaux de sulfure étaient absolument semblables à ceux que nous présentent quelquefois les pièces d'argent qui ont séjourné dans des fosses d'aisance.

On peut obtenir les mêmes effets avec un seul couple; seulement, il faut plus de temps. Rien n'est plus simple que d'analyser ces effets : réaction des deux liquides l'un sur l'autre; réaction du protosulfure de potassium sur l'argent; deux actions chimiques donnant naissance à deux courants électriques, dirigés dans un sens tel que le cuivre est le pôle négatif. Le nitrate est décomposé; il y a précipitation de cuivre, transport d'oxygène et d'acide nitrique sur l'argent dans le protosulfure de potassium; l'oxygène oxyde le potassium, et l'acide nitrique se combine avec la potasse formée, tandis que le soufre se porte sur l'argent, se combine avec lui, forme du sulfure qui cristallise en raison des actions lentes. Une fois que la surface d'argent est recouverte de cristaux, qui sont microscopiques, le soufre qui est transporté par le courant pénètre dans les interstices des premiers cristaux formés, et atteint l'argent qui est au-dessous, jusqu'à ce que toute la lame soit décomposée, d'où résulte une véritable pseudomorphose. La réunion de tous ces dépôts successifs forme une masse cristalline homogène et assez compacte. Voilà donc une véritable cémentation, et il est probable que celles qui ont lieu dans la nature s'opèrent de la même manière.

On conçoit effectivement que lorsque les courants circulent dans les corps, s'ils transportent avec eux des éléments dont les dimensions leur permettent de traverser les interstices moléculaires, rien ne s'oppose alors à ce que ces mêmes éléments réagissent sur les parties constituantes des corps.

Passons aux altérations qu'éprouvent quelquefois les pièces d'argent dans les fosses d'aisance, et qui viennent d'être mentionnées précédemment.

Lorsque l'argent se trouve dans une fosse d'aisance, les sulfures ammoniacaux ou autres, qui se trouvent dans les matières fécales, réagissent sur l'argent, qui ne tarde pas à se changer en sulfure.

Mais que faut-il pour que les effets électriques, décrits précédemment, se reproduisent? Il suffit tout simplement que l'argent se trouve en contact avec une matière carbonacée, provenant d'un corps organisé quelconque qui a été décomposé, pour constituer un couple voltaïque, d'une part, avec l'argent, de l'autre avec les sulfures, sur lesquels réagit l'oxygène de l'air, de sorte que ce gaz remplace celui qui provient de la réduction de l'oxyde de cuivre dans l'expérience précitée.

Dans cette expérience, ainsi que dans toutes les expériences électro-chimiques, en général, dans lesquelles on a pour but de former des composés naturels, on réunit les circonstances les plus favorables pour former ces composés, circonstances que le hasard ne réunit pas toujours.

Dans les appareils précédemment décrits, on a substitué le cuivre à l'argent pour avoir le sulfure du dernier métal; mais comme les effets varient suivant qu'on opère avec le protosulfure de potassium ou le deutosulfure, on doit décrire ce qui se passe dans ces deux dernier cas.

Avec le persulfure, on aperçoit, au bout de quelques jours, sur les parois du tube, de longues et belles aiguilles blanches, légèrement satinées, radiées, qui ne sont autres qu'un double sulfure insoluble de cuivre et de potassium. Ce composé n'éprouve aucune altération au contact de l'air; traité par l'acide nitrique, il donne du sulfate de potasse et du sulfate de cuivre, avec dégagement de gaz nitreux, et même du nitrate de ces deux bases. Quelquefois il arrive aussi que la lame de cuivre se recouvre de petits tubercules de cette substance. Si on laisse continuer l'action, l'oxygène et l'acide nitrique arrivant continuellement dans la branche positive, décomposent le double sulfure, et les belles aiguilles disparaissent peu à peu. Outre les sels de potasse qui restent en dissolution, on obtient encore de petits cristaux de sulfure de cuivre irisés, mêlés de soufre en aiguilles.

On peut dire qu'en général, dans la formation des composés électro-chimiques, un composé est remplacé par un autre, et cela plusieurs fois de suite, de manière qu'il arrive que dans une opération on voit se produire trois ou quatre composés différents, qui ne se ressemblent ni par la composition, ni par la cristallisation.

Cette formation successive de produits directs est le caractère le plus saillant et le plus original de la méthode électro-chimique, pour produire des composés analogues à ceux de la nature.

Avec le protosulfure de potassium, le cuivre et une prolongation

d'action, les réactions sont les mêmes que lorsqu'on a opéré avec l'argent, c'est-à-dire, décomposition du double sulfure, formation d'un sulfure de cuivre cristallisé, d'un aspect gris métallique, dont la forme est difficile à établir en raison de la petitesse des cristaux.

On peut également obtenir, avec le persulfure de potassium, le sulfure simple ; il apparaît quelquefois immédiatement quand le courant n'a pas une grande force décomposante, ou bien à la suite de la décomposition du double sulfure. Dans ce dernier cas, le sulfure de potassium étant enlevé, si l'action est très-lente, et que la quantité d'oxygène et d'acide nitrique ne soit que suffisante pour réagir sur le sulfure de potassium, le sulfure de cuivre devient libre et cristallise.

En substituant dans les appareils le plomb au cuivre, et opérant avec le protosulfure de potassium, on obtient des effets semblables à ceux produits avec l'argent. Le sulfure de plomb est dans les premiers moments à l'état pulverulent, mais au fur et à mesure que la solution devient moins concentrée, il se dépose sur la lame de plomb des masses tuberculeuses cristallines de sulfure de plomb, qui possèdent toutes les propriétés de la galène proprement dite. Il arrive aussi quelquefois que l'on obtient le double sulfure de potassium et de plomb en aiguilles blanches. En général, tous ces produits ont le même aspect que les composés analogues à ceux de la nature.

Autre méthode. On prend un tube fermé par un bout, de 5 à 6 millim. de diamètre, et on y introduit du sulfure de mercure noir, sur une hauteur d'environ 2 ou 3 centimètres. On verse dessus une dissolution de chlorure de magnésium, on plonge dedans jusqu'au fond une lame de plomb, et l'on ferme hermétiquement. Le tout est abandonné ensuite aux actions spontanée, électro-chimique et autres.

Un mois ou quarante jours après, on commence à apercevoir sur la paroi du tube, au-dessus du sulfure, une couche très-mince douée de l'éclat métallique, qui s'en détache aisément, et se recouvre du côté de la lame de petits cristaux octaédriques ou dérivant du cube, ayant l'aspect de la galène. En ouvrant le tube, il s'en dégage une odeur propre aux combinaisons du soufre avec l'hydrogène ou le chlore. La liqueur dégage en outre de l'acide sulfureux, et la partie inférieure de la lame est devenue cassante par suite de la combinaison du plomb avec le mercure. Certainement ces effets sont complexes, et cependant l'électricité est intervenue pour les produire. Comment discerner la part des forces électriques dans tous ces effets divers ?

On sait que lorsque le plomb est mis en contact avec une solution

de chlorure alcalin ou terreux, il y a formation de double chlorure, l'alcali ou la terre est mis à nu. Par suite de cette réaction le métal est négatif et le liquide positif. Si ces deux substances étaient seules dans le tube, il n'y aurait point de courant électrique. Mais la circulation du fluide électrique peut s'opérer d'une part par l'intermédiaire du sulfure de mercure, et de l'autre au moyen de la couche infiniment mince du liquide qui adhère à la paroi du tube, couche dont la densité n'est pas la même que celle du liquide environnant. De sorte que la paroi du tube se comporte comme le troisième tube qui est nécessaire pour établir la circulation du courant électrique.

D'un autre côté, le sulfure de mercure est sensiblement attaqué par l'eau salée; le mercure s'amalgame avec le plomb, et le soufre, devenu libre, est transporté dans la partie supérieure de la lame de plomb, où il rencontre du chlorure de plomb qu'il décompose en formant du sulfure de plomb; et comme cette action se fait très-lentement, les molécules de ce sulfure peuvent se grouper suivant les lois de la cristallisation.

Voyons maintenant comment peut intervenir la paroi du tube. Puisque le plomb est attaqué, que le sulfure de mercure se dissout peu à peu et que la couche de la solution de chlorure adhérente à la paroi n'a pas la même densité que celle du liquide environnant, il s'ensuit que la paroi peut être considérée comme le pôle négatif; dès lors elle doit tendre sans cesse à attirer le plomb et à chasser le chlore vers la lame de plomb; ce métal peut se combiner avec le soufre du sulfure de mercure tenu en dissolution; d'un autre côté, il peut se faire aussi que le sulfure de mercure ne puisse pas agir directement sur le chlorure de plomb.

Avant de terminer ce que l'on a à dire sur les sulfures, nous devons faire connaître encore un procédé très-simple pour obtenir cristallisé en octaèdres, le sulfure d'argent. Les cristaux sont des octaèdres parfaits doués du brillant métallique et rivalisant avec ce que la nature a produit de plus parfait en ce genre.

On prend un tube en U préparé comme il a été dit; dans l'une des branches on met une solution de nitrate d'argent; dans l'autre, une solution saturée d'hyposulfite de potasse provenant de la décomposition à l'air du protosulfure de potassium; on établit la communication entre les deux branches, au moyen d'une lame d'argent. L'hyposulfite réagit sur l'argent, et de là résultent les effets électrochimiques précédemment décrits. Il se forme dans la branche positive du nitrate et du sulfate de potasse, attendu que l'oxygène et

l'acide nitrique exercent d'abord leur action sur l'hyposulfite de potasse. Que devient après cela l'hyposulfite d'argent? Lorsque la branche communique avec l'air, la solution s'évapore peu à peu, et il se dépose en même temps, soit dans l'argile, soit sur la lame d'argent, de jolis octaèdres de sulfure d'argent. Mais comment se fait-il que dans cette circonstance on obtienne du sulfure d'argent au lieu de l'hyposulfite? Quand une action électro-chimique est très-faible, comme cela arrive à la fin des opérations, rien ne s'oppose alors à ce que l'action du pôle positif se borne à enlever l'oxygène, d'une part à l'oxyde d'argent, de l'autre à l'acide hyposulfureux; il se produit alors un sulfure d'argent. Dans ce cas, le pôle positif joue simplement le rôle de désoxydant à l'égard des corps avec lesquels il est en contact.

Le sulfure de fer, du moins le protosulfure, est difficile à former en raison de la promptitude avec laquelle s'oxydent les éléments dont il est formé; néanmoins on est parvenu à l'obtenir avec l'hyposulfite alcalin, en très-petits cristaux jaunes, doués de l'éclat métallique, mais qui ont été promptement décomposés à l'air.

Les pyrites se forment très-fréquemment dans les tourbières, ainsi que dans les tuyaux de conduite de certaines eaux minérales.

Le protosulfure de fer est formé d'un atome de fer et d'un atome de soufre; c'est-à-dire que ces deux éléments s'y trouvent dans la même proportion que dans le protosulfate de fer. Si ce sel est en contact avec des corps très-avides d'oxygène, et qui puissent désoxyder lentement, en même temps, l'acide sulfurique et le protoxyde de fer, il se formera un protosulfure. M. Fournet a trouvé des cristaux de ce sulfure sur un morceau de fer provenant de l'arbre tournant d'une roue hydraulique, où il servait à fixer le tourillon; on endulsait l'axe de matières grasses purifiées par l'acide sulfurique; ainsi la réaction de ces matières sur l'acide sulfurique qu'elles ont réduit, a mis à nu le soufre, qui, trouvant le fer dans un grand état de division au milieu des matières grasses, a déterminé la formation des pyrites. Quelques années ont suffi pour leur production. La cristallisation ne peut être attribuée qu'à une formation très-lente des pyrites. On doit rapporter à une cause semblable la formation de pyrites sur un outil de mineur trouvé au milieu de décombres dans une ancienne galerie de mine abandonnée depuis les Romains, dit-on, à Pont-Gibaud. Le fer en contact avec les matières carbonacées provenant de la décomposition des matières organiques, a dû former des couples voltaïques, qui ont agi comme on l'a dit précédemment.

Nous sommes parvenu à former des pyrites de persulfure de fer, ayant la forme de dodécaèdres à face pentagonale, en abandonnant aux actions spontanées un mélange de sulfate de fer, de sulfate de chaux et d'huile, dans des proportions que nous ne pourrions indiquer, attendu que dans l'origine nous n'avions pas l'intention de produire cette substance. L'opération a duré quatre ou cinq ans. Quelques cristaux avaient deux millimètres d'étendue.

Des iodures et doubles iodures.

Mais pour bien montrer la fécondité de la méthode des doubles décompositions, qui joue un si grand rôle dans la nature, on va encore parler du double iodure et de l'iodure simple de plomb.

Les iodures métalliques étant soumis à la même loi de composition que les sulfures, on doit obtenir sans difficulté, en opérant comme nous l'avons fait, des produits analogues.

Dans l'appareil en U, substituons au sulfure de potassium, de l'iodure de potassium, puis servons-nous d'un couple plomb et cuivre, le cuivre plongeant dans le nitrate de cuivre et le plomb dans l'iodure de potassium. Par suite des actions électro-chimiques faciles à interpréter d'après ce qui a été dit précédemment, il se forme dans la branche positive de longues aiguilles blanches, soyeuses, très-fines, qui remplissent toute cette branche, et qui ne sont autres que le double iodure de potassium et de plomb; ce dernier y est à l'état de protoiodure. Voilà ce qui se passe tant qu'il y a de l'iodure simple de potassium à décomposer et qu'il y a dans l'autre branche un grand excès de nitrate de cuivre. Mais il arrive un point où tous ces jolis cristaux blancs disparaissent peu à peu, à commencer par le bas, et sont remplacés par de beaux cristaux jaunes octaédriques de deutoiodure de plomb. Interprétons ces effets :

L'acide nitrique et l'oxygène débouchent dans la double solution; celle-ci est décomposée; il y a formation de nitrate de potasse. L'iode mis à nu se porte sur le protoiodure devenu libre, et il se forme un deutoiodure de plomb cristallisé, identique avec celui connu des chimistes. Le cuivre soumis au même mode d'action donne d'abord un double iodure en aiguilles blanches cristallines, puis on obtient après la décomposition de jolis cristaux octaèdres. L'iodure d'argent s'obtient aussi facilement.

Il est probable que les autres métaux dont les iodures sont insolubles, avec des précautions convenables, donneraient des résultats

semblables. Les bromures, les séleniures insolubles peuvent être obtenus de la même manière sans aucun doute.

Ces exemples montrent l'emploi de la méthode des doubles combinaisons pour arriver aux combinaisons simples. Nous répétons qu'en électro-chimie, lorsque l'on veut former une combinaison insoluble et l'obtenir cristallisée, il faut la faire entrer en combinaison avec une autre, et enlever celle-ci au moyen de l'action électro-chimique.

Exposé d'une méthode générale pour obtenir cristallisés divers produits, le soufre, le sulfate et le carbonate de baryte, de plomb, etc.

L'appareil le plus simple que l'on emploie pour former simultanément des sels métalliques, terreux, insolubles, est d'une construction très-simple. Il se compose de deux bocaux réunis par un tube recourbé, rempli d'argile humide. Dans l'un, on verse une solution de sulfate de cuivre, dans l'autre de l'alcool, et l'on humecte l'argile avec une solution saturée de nitrate de potasse; dans l'alcool plonge une lame de plomb, et dans la solution de cuivre une lame de cuivre: ces deux lames sont mises en communication. L'alcool est à 33°. Voici les effets produits : le sulfate de cuivre ne tarde pas à être décomposé par suite des effets électriques résultant de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre et de l'alcool sur le plomb. Le cuivre est réduit sur la lame de même métal; l'oxygène et l'acide sulfurique se transportent du côté où se trouve la lame de plomb; mais au lieu d'obtenir du sulfate de plomb, il se forme en peu de jours une grande quantité de cristaux octaèdres de nitrite de plomb, et quelquefois, suivant l'intensité du courant, des cristaux de nitrate de plomb. Ces résultats prouvent que l'acide sulfurique en traversant l'argile décompose le nitrate de potasse, se combine avec la potasse, en vertu d'une plus forte affinité, tandis que l'acide nitrique devenu libre se transporte sur le plomb.

L'expérience suivante montre le parti que l'on peut tirer du mode d'expérimentation que nous venons d'employer pour former divers composés. On substitue à l'alcool une dissolution alcoolique de sulfocarbonate de potasse, sans rien changer au dispositif indiqué. Voici ce qui se passe. Le sulfocarbonate de potasse, dont la solution se décompose peu à peu à l'air, se trouve dans des circonstances favorables pour que de faibles actions électro-chimiques apportent des changements dans l'état de combinaison de ses molécules. D'après la na-

ture des effets électriques résultant des diverses réactions chimiques produites, le plomb est le pôle positif, le cuivre le pôle négatif. Le cuivre se dépose sur la lame de même métal; l'oxygène et l'acide sulfurique sont transportés vers le plomb; l'acide sulfurique décompose le nitrate de potasse qui se trouve dans l'argile, de sorte que l'oxygène et l'acide nitrique se rendent seuls dans la solution de sulfocarbonate, qui est décomposée et dont les éléments sont oxydés en partie, et en partie séparés. Il se forme d'abord du carbonate de potasse qui cristallise sur les parois du vase, du sulfate de potasse, du sulfate et du carbonate de plomb, du sulfocarbonate de potasse et de plomb en cristaux aciculaires, enfin du soufre provenant de la décomposition du sulfure, et qui cristallise sur la lame de plomb en octaèdres comme dans la nature. Dans l'espace d'un mois, ces cristaux acquièrent quelquefois un millimètre et plus de côté.

Les produits varient avec le degré de concentration de la dissolution, et probablement avec l'intensité du courant. Avec une solution alcoolique de sulfocarbonate étendue d'eau, on a peu de soufre et une grande quantité de sulfocarbonate de plomb et de potasse. Ces différences dans les resultats dépendent des rapports existant entre les affinités des divers corps, leurs proportions et les intensités du courant, lesquels rapports varient suivant la conductibilité des liquides et l'énergie de l'action chimique qui produit le courant.

Dans les expériences précédentes, l'acide sulfurique ne détruit la combinaison de la potasse avec l'acide nitrique, qu'en raison du peu d'énergie de l'action électro-chimique, car lorsque l'action est très-considérable, tous les acides indistinctement sont transportés au pôle positif.

Le courant électrique dont nous nous sommes servis provenait de deux causes, de la réaction chimique l'un sur l'autre, des deux liquides en relation au moyen de l'argile humide, et de l'action chimique du sulfocarbonate sur le métal qui plonge dedans. Quand la première réaction est suffisamment énergique, on peut se passer de la seconde; de même si celle-ci a une intensité convenable, la première est inutile; mais quand l'une et l'autre sont faibles et que les courants qui en résultent sont dirigés dans le même sens, leur somme devient alors indispensable à la production des effets électro-chimiques. Il arrive souvent que ces deux courants sont si faibles que la réduction de l'oxyde de cuivre n'a point lieu. Il ne se produit plus aucun effet, et il est inutile de pousser plus loin l'expérience; il faut alors changer l'appareil.

Il serait à désirer qu'on pût toujours opérer sur des solutions qui exerçassent les unes sur les autres des actions chimiques suffisamment énergiques pour donner naissance à des courants doués d'assez de puissance, quand la lame qui plonge dans le liquide actif est d'or ou de platine, au lieu de plomb ou de cuivre, afin de pouvoir étudier facilement les phénomènes de décomposition et de recomposition, indépendamment de la réaction des éléments transportés sur ces derniers métaux. On peut suppléer à ce défaut de réaction suffisante des liquides, en opérant avec l'appareil composé dont nous allons donner la description, lequel permet d'éviter quand on le veut, l'action de ces éléments sur l'électrode.

Cet appareil (pl. XI, fig. 13) est composé de trois bocaux A, B, C, rangés sur la même ligne, à peu de distance les uns des autres.

Le premier est rempli d'une solution de nitrate ou sulfate de cuivre; le second de la solution de la substance sur laquelle on veut opérer, et le troisième de la solution acide ou saline, sur laquelle doit agir le métal oxydable qu'on doit y plonger, et d'où doit résulter le courant électrique.

A communique avec A′ au moyen d'un tube recourbé *a b c* en verre, rempli d'argile humectée d'une solution, dont la nature dépend de l'effet que l'on veut produire dans A′. A′ et A″ communiquent au moyen d'une lame de platine ou d'or, *a′ b′ c′*. On plonge dans A une lame de cuivre poli, dans A″ une lame de zinc, et on réunit ces deux lames au moyen d'un fil de cuivre; enfin, dans A′ on met un tube de sûreté *t t* pour connaître la pression intérieure, quand il se dégage des gaz. D'après cette disposition, qui est la plus avantageuse pour produire des effets électro-chimiques, l'appareil fonctionne au moyen du couple voltaïque *z c*.

Il est bien évident que le bout de la lame de platine ou d'or, qui se trouve dans la solution du bocal A′, est le pôle positif d'un appareil simple, dont l'action est lente et continue. Par conséquent, toutes les opérations électro-chimiques s'opèrent autour de cette lame, puisque c'est sur elle que se rendent l'oxygène et l'acide résultant de la décomposition du sel métallique qui se trouve en A.

Donnons une application :

Dans le bocal A on met une dissolution de sulfate de cuivre; dans le bocal A′, une autre de sulfocarbonate de potasse; dans le tube intermédiaire, de l'argile humectée d'une dissolution saturée de nitrate de potasse, et dans le bocal A″ de l'eau salée, dans laquelle plonge une lame de zinc. Aussitôt que le circuit est fermé, le sulfate

de cuivre est décomposé; l'oxygène se rend vers $\acute{a}$, ainsi que l'acide sulfurique qui, en passant dans le tube *a b c*, chasse l'acide nitrique, lequel se rend avec l'oxygène dans A', où leurs réactions déterminent les changements indiqués précédemment, à l'exception de ceux relatifs à l'oxyde de plomb.

Il est convenable souvent de placer un quatrième bocal entre A et A', dans lequel on met une quantité suffisante de la dissolution saline qui doit être décomposée par l'acide sulfurique, pour que les effets produits dans le bocal A' ne soient pas interrompus quand tout le sel contenu dans l'argile a été décomposé. Ainsi, quand on voudra porter un gaz ou un acide à l'état naissant dans A', il suffira de placer dans l'argile une dissolution qui, par la réaction de l'acide sulfurique provenant de la décomposition du sulfate de cuivre, laisse dégager ce gaz ou cet acide. S'il s'agit au contraire d'y porter de l'hydrogène ou un élément électro-négatif, il faut renverser les moyens de communication et mettre *a' b' c'* à la place de *a b c*, et réciproquement. Enfin, si l'on remplace la lame de platine par une lame de métal oxydable, on introduit dans la solution intermédiaire un oxyde qui, se trouvant à l'état naissant, concourt à la formation des nouveaux produits. Voici les résultats de plusieurs expériences :

1° On verse dans le bocal A' une dissolution alcoolique de sulfocarbonate de potasse, dans le bocal A une dissolution de sulfate de cuivre, et dans l'argile du tube *a b c* une solution de nitrate de potasse; vingt-quatre heures après, la réaction de l'oxygène et de l'acide nitrique sur la dissolution de sulfocarbonate est déjà sensible; car on aperçoit sur le bout $\acute{a}$ de la lame de platine les produits indiqués plus haut, c'est-à-dire, des cristaux de soufre, de carbonate neutre de potasse.

2° Avec le même appareil on peut constater la présence de l'acide nitrique et celle de l'acide chlorhydrique dans une dissolution quelconque, même lorsque ces deux acides s'y trouvent en très-petite quantité. On remplace la lame de platine *a' b' c'* par une lame d'or; on met dans le bocal A une dissolution de sulfate de cuivre, et dans le bocal A' et l'argile du tube *a b c*, une dissolution du composé qui est censé renfermer les deux acides en combinaison avec des bases. Aussitôt que l'appareil fonctionne, l'acide sulfurique chasse les deux acides de leurs combinaisons, lesquels se portent avec l'oxygène qui provient de l'oxyde de cuivre, sur le bout $\acute{a}$ de la lame d'or; la couleur d'or qui se manifeste immédiatement indique la présence des deux acides. Par cette méthode aucune des parties acides n'est perdue.

3° On remplit le bocal A′ d'une dissolution de sulfite de potasse, et l'on remplace la lame d'or *a′ b′ c′* par une lame de cuivre. L'extrémité *a* étant toujours le pôle positif, attire l'oxygène et l'acide nitrique; ce dernier décompose le sulfite et s'empare de la base; l'acide sulfureux se porte sur l'oxyde de cuivre, qui se forme en même temps et se combine avec lui; le sulfite de cuivre se combine lui-même avec le sulfite de potasse; d'où résulte un composé qui cristallise en beaux octaèdres; mais l'acide nitrique continuant toujours à arriver, finit par décomposer ce double sulfite; il se dégage alors du gaz acide sulfureux, le sulfure de potasse est transformé en bisulfite et en nitrate de potasse. Quant au sulfite de cuivre, il se précipite en cristaux transparents, d'un rouge vif.

Ces trois exemples suffisent pour montrer combien sont variés les effets que l'on peut obtenir avec l'appareil dont nous venons de donner la description.

De l'action de l'électricité à forte tension sur les substances insolubles.

En soumettant à l'action d'une pile composée d'un grand nombre de couples, au moyen de deux fils d'or, deux portions séparées d'eau distillée renfermées dans un tube de verre et communiquant ensemble par l'intermédiaire d'une substance animale ou végétale humide, Davy obtint une dissolution d'or dans le tube positif et une solution de soude dans le tube opposé. Le chlore ainsi que l'alcali étaient fournis par le verre.

En employant des vases de cire, il obtint du côté négatif un mélange de soude et de potasse, et du côté positif un mélange des acides sulfurique, chlorhydrique et nitrique. Avec la résine, la matière alcaline parut composée de potasse.

Ayant mis de l'eau distillée dans une cavité pratiquée dans un morceau de marbre blanc et dans un creuset de platine, l'une et l'autre communiquant avec de l'asbeste, le creuset en rapport avec le pôle positif et la cavité avec le pôle négatif, l'eau de celle-ci acquit le pouvoir d'affecter la couleur de curcuma par suite de la présence de la soude et de la chaux; la soude ne parut plus après onze opérations de deux heures chacune. Du côté positif il reconnut la présence du chlore. Davy en tira la conséquence très-juste que le marbre blanc avait été exposé à l'eau de mer. Ayant soumis à l'action de la pile diverses substances minérales, il trouva toujours

de la soude, de sorte qu'il paraît exister peu de pierres qui ne contiennent quelques portions de matières salines. On conçoit très-bien la possibilité de ce mélange quand on considère que la plupart des roches portent des marques évidentes de leur ancien séjour au-dessous de la mer. Deux vases de sulfate de chaux compacte, remplis d'eau et en communication avec du sulfate de chaux humide, furent mis en rapport avec une batterie de 100 couples : au bout d'une heure, le vase négatif renfermait une solution pure et saturée de chaux, et l'autre une solution assez saturée d'acide sulfurique.

Le fluorure de calcium fut également décomposé dans les mêmes circonstances et produisit des effets analogues.

Le sulfate de baryte résista davantage à l'action décomposante du courant, mais on finit par obtenir du carbonate de baryte au pôle négatif.

Un basalte dans lequel l'analyse avait donné sur 100 p. 3 1/2 de soude et $\frac{1}{2}$ partie d'acide chrorhydrique avec 15 part. de chaux, ayant été soumis pendant dix heures à l'action voltaïque, une forte odeur de chlore se manifesta du côté positif, et à l'autre pôle on obtint un mélange de chaux et de soude.

La lépidolithe a donné de la potasse.

Davy, avec une pile de 150 couples, est parvenu à retirer de la soude d'un tube de verre rempli d'eau distillée soumise à son action.

M. Crosse a employé également les courants provenant de piles composées d'un grand nombre d'éléments et chargées avec de l'eau pure pour décomposer des substances insolubles et former différents composés. Voici le détail de plusieurs de ses expériences et les résultats obtenus :

1° Une batterie de 100 paires de 25 pouces carrés, chargée avec de l'eau, agissant sur des coupes contenant 1 once de carbonate de baryte et de sulfate d'alumine, a donné du sulfate de baryte au pôle positif et des cristaux d'alumine au pôle négatif.

2° Une batterie de 11 couples cylindriques, de 12 pouces sur 4, agissant pendant six mois sur du fluosilicate d'argent, a produit des cristaux d'argent au pôle négatif, des cristaux de silice et de la calcédoine au pôle positif.

3° Une batterie composée de plaques demi-circulaires de 1 1/4 pouce de rayon, placées sur des plateaux de verre, et agissant pendant cinq mois à travers une brique poreuse sur une solution de silice dans la potasse, a donné de petits cristaux de quartz au pôle positif.

4° Une batterie de 30 couples, de même grandeur que les pré-

cédents, agissant sur un mélange de 1 gr., 20 de sulfate de plomb, d'oxyde blanc d'antimoine, de sulfate de cuivre, de protosulfate de fer, d'eau et de 3 gr., 60 de verre commun en poudre, a donné sur le fil négatif du cuivre pur en deux jours et des pyrites de fer cristallisées en quatre jours. M. Cross a reconnu qu'en chargeant les appareils avec de l'eau pure, il pouvait conserver leur énergie sans altération sensible pendant une année. Il a obtenu enfin le double sulfure d'argent et d'antimoine et l'arséniate de cuivre cristallisés. De plus, ayant remarqué que dans les montagnes de Quantock il existait du spath calcaire incrusté dans la pierre à bâtir, et de l'aragonite dans un schiste argileux, il en a conclu que ces minéraux avaient été formés par l'eau qui filtrait dans ces roches; ayant recueilli de cette eau, il la soumit à l'action d'un de ses appareils pendant dix jours, et parvint par ce moyen à produire des substances semblables à celles que nous venons de citer. Il a cru reconnaître, dans le cours de ses expériences, que la lumière nuisait à la perfection des cristaux, attendu qu'il a obtenu dans une période plus courte et avec un pouvoir électrique plus faible les mêmes produits à l'ombre. En soumettant à l'expérience de l'acide fluorique silicé, il a obtenu au pôle négatif des cristaux de quartz; suivant le développement progressif de ces cristaux, il a commencé par apercevoir un hexagone, ensuite des lignes radiées partant de son centre; puis des faces se sont formées parallèlement au côté. Quelque mouvement survenu dans l'opération a fait naître un second cristal qui a formé hémitropie avec le premier.

De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles.

Jusque dans ces derniers temps, on pensait que l'on ne pouvait décomposer les substances insolubles, à l'aide de l'électricité, qu'en employant des appareils voltaïques composés d'un nombre plus ou moins considérable d'éléments; mais on peut arriver au même but en employant simultanément les affinités et l'action des deux électricités dégagées dans la réaction lente de deux corps l'un sur l'autre. En effet, on sait que si l'électricité, en vertu de laquelle les éléments d'un corps sont combinés, pouvait être changée en courant, ce courant aurait toute l'intensité nécessaire pour opérer la séparation de ces mêmes éléments. Or, lorsque deux corps se combinent ensemble, les électricités dégagées représentent exactement celles

qui constituent le pouvoir électrique. Si donc on parvenait à les recueillir complétement, de manière à produire un courant, ce courant opérerait la séparation d'un même nombre d'éléments. Nous ne pouvons malheureusement transformer en courant qu'une très-faible portion des électricités dégagées, attendu qu'il se produit, dans le liquide même, une foule de recompositions, desquelles résulte un dégagement de chaleur, qui augmente d'autant le pouvoir conducteur. D'après cela, plus on affaiblit le nombre de ces recompositions, plus l'intensité du courant augmente, et plus alors elle tend à devenir égale à celle d'une pile composée d'un certain nombre d'éléments. On remplit cette condition en disposant les appareils de manière à ce que les électricités dégagées parcourent dans le liquide le plus petit espace possible et éprouvent le moins de résistance en passant d'un conducteur dans un autre. Quelques exemples pris parmi les plus simples montreront le parti que l'on peut tirer de ce mode d'opérer pour la production de quelques composés.

On prend un tube de 4 millim. de diamètre, fermé par un bout, et l'on met dedans un gramme et demi de sulfure noir de mercure, sur lequel on verse une solution saturée de sel marin; puis on plonge dedans une lame de cuivre, et l'on ferme hermétiquement le tube. Bien que le sulfure de mercure ne soit pas sensiblement attaqué par le sel marin, et que celui-ci ne réagisse pas beaucoup sur le cuivre hors du contact de l'air; cependant les diverses réactions chimiques qui ont lieu au contact du cuivre, du sulfure, avec une petite quantité de mercure, de l'eau et du chlorure de sodium, produisent les effets suivants : décomposition du sulfure, combinaison du mercure avec le cuivre et cristallisation de l'amalgame sur la lame de cuivre et les parois du tube. Ces cristaux sont des octaèdres réguliers. Une opération de ce genre est commencée depuis dix ans et continue toujours.

Si l'on opère avec de l'eau distillée au lieu d'eau salée, que l'on amalgame le bout de la lame de cuivre qui est en contact avec le sulfure de mercure, et qu'on laisse le tube ouvert, les réactions chimiques marchent rapidement; car on commence à apercevoir, huit jours après, les cristaux d'amalgame de cuivre sur la partie supérieure de la lame. Il est probable qu'il se forme d'abord du sulfate de mercure, puis du sulfate de cuivre, dont la décomposition produit les effets décrits.

On a mis dans un tube de verre, du carbonate de cuivre nouvellement préparé, une solution saturée de sel marin, une lame de fer, et l'on a fermé hermétiquement le tube; peu à peu le carbo-

nate, de bleu qu'il était, est devenu noir; la lame s'est recouverte de cuivre métallique, et la décomposition a été complète au bout de deux mois. Il est hors de doute que dans cette circonstance et par suite des diverses réactions qui ont eu lieu au contact de l'eau, du sel marin, du carbonate de cuivre, et du fer, le carbonate hydraté n'ait été d'abord décomposé sous l'influence voltaïque en eau et en carbonate anhydre; c'est-à-dire que l'eau n'ait été décomposée par le fer, à la manière des acides. Quand l'expérience se fait au contact de l'air, il se précipite de l'oxyde de fer; en substituant au fer une lame de plomb, il y a également décomposition du carbonate de cuivre, sans qu'on observe bien sensiblement le passage du carbonate hydraté au carbonate anhydre, puis formation de double chlorure de plomb et de sodium qui cristallise en jolis rhomboèdres, de carbonate de plomb, et probablement de chlorocarbonate en cristaux aciculaires; la liqueur devient légèrement alcaline, par suite de la sonde mise à nu. Les diverses substances qui résultent des réactions électro-chimiques sont tellement mêlées les unes avec les autres qu'il est difficile de les séparer.

Si l'on prend du carbonate d'argent, de l'eau distillée et une lame de plomb, le tout disposé comme dans les expériences précédentes, le carbonate ne tarde pas à être décomposé. La portion d'argent adhérente au verre forme en divers endroits une surface continue et brillante, comme si le verre était argenté, preuve de l'influence des surfaces sur l'action électro-chimique. La lame de plomb se recouvre de carbonate hydraté de plomb, en petites lamelles nacrées. Ce carbonate, comme celui du cuivre, ne peut être décomposé qu'en admettant que les effets électriques produits dans l'oxydation du métal au contact de l'eau et de l'air, sont capables de séparer les éléments des sels métalliques insolubles soumis à leur action. En substituant au plomb une lame de cuivre ou de fer, le carbonate d'argent est encore décomposé, et plus rapidement encore qu'avec le plomb. Une partie du gaz acide carbonique se dégage; l'autre forme avec de l'oxyde de cuivre du carbonate vert qui se change peu à peu en carbonate bleu, ayant la forme de cristaux microscopiques; l'argent métallique résultant de la décomposition du carbonate est mêlé de très-petits cristaux de protoxyde de cuivre, provenant probablement de la décomposition du carbonate de cuivre nouvellement formé et de celui qui se trouvait dans le carbonate d'argent.

Les silicates des métaux dont les oxydes sont facilement réductibles sont également décomposés dans leur contact avec l'eau et les

lames de métal oxydable. Nous citerons particulièrement les silicates de cuivre, d'argent et de plomb, mis en contact avec des lames de plomb, de fer, de zinc et de cuivre.

Le silicate de cuivre est décomposé par des lames de fer et de plomb ; l'oxyde métallique est réduit, et la silice se dépose sous forme gélatineuse. Il est probable qu'en disposant les appareils de manière à ce qu'ils fonctionnent très-lentement, on obtiendrait de petits cristaux de quartz. Si l'on opère avec une lame de zinc, recouverte ou non de cuivre dans la partie en contact avec le silicate, il se produit des effets qui ne pouvaient être prévus *à priori*, attendu qu'ils ne ressemblent en rien à ceux que l'on obtient avec les autres métaux. La lame ne tarde pas à prendre une couleur bleue très-intense, tirant sur le noir tant qu'elle se trouve dans l'eau ; mais si on l'en retire et qu'on la fasse sécher, la couleur bleue est bien marquée. La surface du zinc se recouvre de petits tubercules bleus qui font effervescence avec tous les acides et donnent des sels de cuivre qui, traités par l'ammoniaque, s'y dissolvent en partie et laissent du cuivre métallique dans un grand état de division. Dès lors, dans la réaction très-lente du zinc sur le silicate de cuivre par l'intermédiaire de l'eau distillée, il se dépose du cuivre métallique, du deutoxyde de cuivre anhydre, dont une partie se combine avec l'acide carbonique transmis à l'eau par l'air. Or, comme la réaction s'opère dans toute l'étendue de la lame, bien qu'elle ne soit en contact que dans une petite partie avec le silicate de cuivre, il faut donc admettre que ce dernier est faiblement soluble dans l'eau à l'aide de l'acide carbonique de l'air. Pendant tout le temps que s'effectuent les diverses réactions dont nous venons de parler, il se dégage une quantité assez notable de gaz hydrogène provenant de la décomposition de l'eau. Nous devons ajouter que, dans ces réactions, il se forme de petits tubercules cristallisés de carbonate de zinc, dans lesquels on reconnaît la forme rhomboïdale.

En opérant avec l'oxyde de cuivre hydraté, ou du carbonate vert de cuivre au lieu de silicate, l'oxyde est réduit sans qu'il y ait formation de carbonate bleu, et il se dépose sur la lame de zinc des tubercules cristallins de carbonate de zinc. L'eau est également décomposée, mais moins abondamment.

Les arséniates et les phosphates de métaux oxydables ont été soumis également avec succès au même mode d'expérimentation, particulièrement les sousarséniate et sousphosphate d'argent. Leur décomposition s'est effectuée assez rapidement ; l'oxyde d'ar-

gent a été réduit ; l'acide devenu libre s'est combiné avec l'oxyde nouvellement formé. En employant une solution de chlorure de sodium au lieu d'eau distillée, on obtient des doubles combinaisons.

Avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et le plomb, il s'est déposé sur celui-ci des lamelles cristallines d'un blanc nacré d'arséniate de plomb. L'eau est devenue assez fortement acide par la présence de l'acide arsénique; il se forme dans ce cas un sousarséniate. En opérant avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et une lame de cuivre, le sel métallique est également décomposé : l'oxyde d'argent est réduit, et il se forme des cristaux d'arséniate de cuivre d'un vert pâle.

Si l'on soumet le chromate d'argent à l'expérience, avec l'eau distillée et une lame de plomb, le chromate ne tarde pas à être décomposé; il se dépose sur la paroi inférieure du verre, des lamelles cristallines d'argent; l'acide chromique se combine avec l'oxyde de plomb, formé aux dépens de l'oxygène de l'oxyde d'argent; il en résulte un chromate de plomb jaune qui se change peu à peu en chromate d'un rouge orangé en cristaux aciculaires. Ces expériences variées de mille manières donnent naissance à des produits qui ne peuvent manquer d'intéresser l'électro-chimie.

On peut opérer également sur des composés insolubles qui ne renferment pas d'oxyde métallique. Nous prendrons pour exemple l'iodure de soufre qui laisse dégager facilement de l'iode. Si après l'avoir broyé en parties très-ténues, on le met dans un tube de verre avec de l'eau et une lame de plomb, l'eau se charge peu à peu d'iode, il se forme promptement des cristaux d'iodure de plomb de plusieurs millimètres d'étendue; des cristaux d'iode très-nets se déposent sur le plomb et sur la paroi du tube, et le soufre est insensiblement mis à nu.

Si l'on substitue au plomb une lame d'étain, la décomposition de l'iodure de soufre dans un tube à petit diamètre paraît marcher plus rapidement. Dans l'espace de vingt-quatre heures, il se dépose sur la lame de belles aiguilles d'un periodure d'étain, de couleur orangée, qui deviennent jaune clair quand on les traite par l'eau bouillante. Avec le cuivre on obtient des effets analogues.

Des carbonates insolubles.

Pour former l'aragonite, on emploie l'appareil composé de trois bocaux tubulés, A, A′, A″, Pl. XI fig. 13; le premier est destiné à dégager de l'acide carbonique, et communique avec A′ au moyen

d'un tube recourbé *a b c*, dans lequel passe le gaz ; la communication de A′ avec A″ est établie avec un autre tube recourbé *a′ b′ c′*, rempli d'argile humide et dont les deux bouts sont coiffés avec du linge pour empêcher la sortie de l'argile ; A′ est rempli d'eau pure ; au fond du vase se trouve du carbonate de chaux en poudre ; dans cette dissolution plonge une lame de platine communiquant avec le pôle négatif d'une pile composée de plusieurs couples, chargée avec de l'eau renfermant une très-petite quantité de sel marin ; A″ contient une solution de chlorure de calcium, dans laquelle est une lame de platine en communication avec le pôle positif. Des tubes de sûreté sont placés dans des bocaux A, A′ ; la première tubulure de A, fermée par un bouchon, est destinée à introduire le carbonate de chaux et l'acide nécessaire pour effectuer le dégagement de gaz. Dans l'ouverture *o* passe, outre le tube de sûreté, un autre petit tube que l'on ouvre de temps à autre pour laisser sortir l'hydrogène. Quand l'appareil est bien luté, on procède au dégagement du gaz acide carbonique, en même temps que l'on fait fonctionner la pile. Voici ce qui se passe : le carbonate de chaux qui se trouve dans le bocal A′ se dissout peu à peu dans l'eau chargée d'acide carbonique qui arrive du bocal A. L'action de la pile transporte de la chaux dans A′. Cet effet continue jusqu'à ce que l'eau soit saturée de carbonate de chaux. La cristallisation commence alors sur la lame même de platine ; l'action décomposante de la pile s'exerce également, quoique faiblement, sur le bicarbonate de chaux ; on a, d'une part, de l'acide carbonique et du carbonate de chaux, et, de l'autre, de l'acide carbonique et de la chaux ; mais ces deux décompositions sont peu considérables, attendu que l'action du courant se porte sur le chlorure de calcium et sur l'eau. L'hydrogène qui provient de la décomposition de celle-ci, en se dégageant autour de la lame de platine, agite le liquide et nuit à la cristallisation. Pour obvier à cet inconvénient, on place au fond du vase de l'hydrate de cuivre, qui se combine peu à peu avec l'acide carbonique. Ce nouveau carbonate est dissous, puis décomposé par le courant ; l'hydrogène aide à la réduction du deutoxyde de cuivre, et ne trouble plus la cristallisation du carbonate de chaux ; mais alors la lame de platine se recouvre de cuivre métallique ou de protoxyde, suivant la force de la pile, et quelquefois même de carbonate bleu et vert de cuivre en petits tubercules, quand son action est excessivement faible, et très-probablement aussi de double carbonate de chaux et de cuivre. Les cristaux de carbonate de chaux déposés sur la lame sont des prismes quadrangulaires terminés par des sommets dièdres,

forme incompatible avec le rhomboèdre primitif de la chaux carbonatée, mais qui appartient au système de l'aragonite. Quelques-uns des cristaux, après vingt jours d'expérience, avaient un millimètre de long. Examinés au microscope, on a reconnu le clivage de l'aragonite. L'analyse qualificative n'a donné que de la chaux et de l'acide carbonique sans eau de cristallisation.

La matière chauffée à 150°, dans un tube de verre, n'a rien perdu de son poids. Un peu avant le rouge obscur, elle a pris une teinte grise et a répandu une légère odeur, puis elle est redevenue très-blanche. Le résidu s'est dissous entièrement dans l'acide acétique faible. Chauffée au chalumeau avec du borax, elle a fondu en un verre presque incolore; 0g,115 ont été décomposés par l'acide sulfurique et chauffés au rouge, on a eu 0,154 de sulfate de chaux, dans lequel on a déjà constaté l'absence du fer, du manganèse, de la strontiane et de la silice. On voit que la composition de cette chaux carbonatée est précisément la même que celle du calcaire ordinaire et de l'aragonite. Quand on cherche à former l'aragonite sans employer l'oxyde de cuivre, le dépôt cristallise difficilement, comme nous l'avons déjà dit, parce que l'hydrogène cause de l'agitation dans le liquide. On ne peut donc décider si la présence d'un métal est ou non une des causes influentes de la cristallisation de la chaux carbonatée dans le système prismatique, comme on l'observe dans la nature à l'égard de l'aragonite qui se trouve dans les mines de fer.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur la formation du carbonate de chaux par l'observation suivante, qui est due à M. Dumas. A la manufacture de Sèvres, dans un réservoir de plomb, où coule de l'eau chargée de carbonate de chaux, tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, la surface intérieure offre des traces à peine sensibles de carbonate de chaux, tandis que sur les soudures on observe des incrustations de plusieurs lignes d'épaisseur, irrégulières à la surface, mais cristallisées à l'intérieur. Nul doute qu'il n'y ait une action électro-chimique très-faible, qui décompose le bicarbonate en carbonate et en acide carbonique; action qui provient du courant résultant de la différence de réaction de l'eau sur le plomb et la soudure : celle-ci étant plus attaquée, devient le pôle positif, et le plomb le pôle négatif.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Des effets électro-chimiques produits dans les corps organisés et les substances organiques sous l'influence de courants.

Du dégagement d'électricité dans l'acte de la végétation.

Avant d'exposer les changements qui s'opèrent dans les corps organisés et les substances organiques quand on les soumet à l'action de l'électricité, nous croyons nécessaire d'indiquer les moyens à l'aide desquels on parvient à reconnaître, dans tous ces corps, la présence de l'électricité, qui d'effet peut souvent devenir cause. Mais auparavant, rappelons-nous le principe que nous avons posé, et dont voici l'énoncé : Toute réaction chimique donne lieu à un dégagement d'électricité soumis à des lois telles, que dans les combinaisons l'acide dégage de l'électricité positive et l'alcali de l'électricité contraire. Dans les décompositions, c'est l'inverse. Faisons-en une application aux végétaux. Les liquides qui humectent les tissus ne sont pas tous homogènes. La séve qui n'est pas évaporée par l'action de l'air dans les feuilles ne jouit pas de la même propriété que celle qui est élaborée; séparée par une membrane, il en résulte des courants électriques qui peuvent intervenir dans les phénomènes de la vie. Les liquides huileux et gommeux qui ne sont pas conducteurs ne jouissent pas de cette propriété, du moins à un degré apréciable à nos appareils. Si l'on plonge les deux extrémités d'un fil de platine dans un fruit (pomme ou poire), l'une du côté de la queue, l'autre du côté de l'œil, on a une déviation assez forte produite par le courant électrique, dont la direction indique que la queue se comporte comme un alcali et l'œil comme un acide. La pêche, l'abricot, la prune donnent des effets en sens inverse. Il y a absence de courant quand on enfonce les deux extrémités du fil à égale distance du centre du fruit perpendiculairement au plan qui passe par l'œil et la queue. Ces courants n'annoncent pas la présence d'acide ou d'alcali, mais bien celle de substances qui en réagissant l'une sur l'autre se comportent comme tels. Si l'on coupe un fruit en deux parties, et qu'on exprime le jus de chacune d'elles, puis qu'on le mette dans deux vases séparés, com-

muniquant au moyen d'une bande de papier, on a des effets absolument semblables.

Il est probable qu'il doit exister une foule de courants électriques circulant dans les tissus par leur intermédiaire et sur lesquels doivent se déposer les produits. Voilà bien les courants électriques produits par la réaction des dissolutions hétérogènes ; il s'agit de voir si réellement on peut obtenir de l'électricité libre dans les différents actes de la végétation. C'est une question des plus complexes en raison du grand nombre d'élaborations qui ont lieu.

Voyons ce qui se passe dans l'acte de la végétation. Pendant le jour, l'acide carbonique est décomposé ; pendant la nuit, au contraire, une partie du carbone accumulé pendant le jour se combine avec l'oxygène que les parties vertes absorbent ; il y a encore d'autres élaborations secondaires qui concourent à l'acte de la végétation ; toutes ces actions dégagent de l'électricité. Quand il y a formation d'acide carbonique, l'oxygène prend l'électricité positive ; le carbone, l'électricité négative. Les effets sont inverses quand cet acide se décompose ; mais les électricités dégagées, quand les deux corps ne sont pas expulsés, se recombinent ; il en est de même quand la décomposition a lieu très-lentement. Il y a tant de causes qui concourent aux fonctions vitales, qu'il est bien difficile de prévoir *à priori* quelle peut être la résultante des effets électriques produits.

La question est moins complexe quand l'un des corps est expulsé du végétal. M. Pouillet fit l'expérience suivante : il plaça sur deux rangs douze capsules de verre vernissées et posées sur une table également vernissée ; elles furent remplies de terre végétale et mises en communication ensemble et avec le plateau supérieur d'un condensateur au moyen de fils de métal, tandis que le plateau inférieur était en relation avec le sol. Des graines furent semées ; les deux premiers jours elles se gonflèrent, et il n'y eut aucun effet électrique ; quand les plantules furent sorties de terre, les lames d'or possédaient un excès d'électricité positive ; dès lors, les capsules avaient pris l'électricité négative, et les gaz sortants l'électricité positive. Quoique les effets chimiques fussent inverses, il en fut de même pendant la nuit. Les graines d'essai étaient le blé, le cresson alénois, la giroflée de Mahon, la luzerne. Au bout de trois ou quatre jours, il suffisait seulement d'une seconde pour charger le condensateur. Pour réussir, il fallait opérer par un temps et un air secs, condition que l'on obtenait en répandant de la chaux dans la chambre.

Pour interpréter ce résultat, il faut se rappeler que dans la ger-

mination il s'opère une véritable combustion ; dès lors les effets électriques doivent être les mêmes ; dans les premiers temps, le gaz formé restant engagé dans la terre, il doit y avoir recomposition des deux électricités dégagées. Il faut qu'il y ait dégagement de gaz acide carbonique pour que le condensateur puisse se charger. Quand le travail de la germination est achevé, comment se fait-il que les effets électriques soient les mêmes le jour que la nuit? Il est difficile de répondre à cette question. L'évaporation doit également donner lieu à des effets électriques, car l'eau doit emporter avec elle quelquefois des principes organiques. On est donc réellement dans l'incertitude sur la véritable cause du dégagement de l'électricité dans l'expérience précédente. Si l'on remarque, en outre, que les substances organiques qui se trouvent dans la terre éprouvent également une véritable combustion d'où doivent résulter des effets électriques semblables à ceux qui ont lieu dans la germination, il en résulte que les effets obtenus par M. Pouillet n'ont pas une origine bien constatée, et qu'il est bien difficile d'étudier le dégagement de l'électricité dans la végétation.

On peut se demander s'il existe dans les végétaux composés de parties hétérogènes des courants résultant de la réaction continuelle de ces parties les unes sur les autres? On peut répondre affirmativement à cette question, en s'appuyant surtout sur l'expérience suivante du docteur Bacomlo de Milan : on prend des disques de racine de betterave et des disques de bois de noyer dépouillé de son principe résineux par une digestion dans la solution de crème de tartre par le vinaigre. On en forme une pile ; si l'on prend pour conducteur deux feuilles de cochléaria, on obtient des contractions dans la grenouille. On voit donc qu'avec des substances organiques seules on peut former une pile, et par suite produire des courants.

De l'action de courants énergiques sur les principes immédiats des plantes.

L'action de l'électricité sur les composés organiques dépend de l'intensité des courants. Avec des courants énergiques les substances sont décomposées entièrement, tandis qu'avec de faibles courants leurs principes immédiats peuvent être séparés, ou il peut se former de nouveaux composés. Commençons par employer des courants d'une forte intensité.

Davy ayant soumis à l'action d'une pile de cent cinquante éléments, pendant plusieurs jours, une feuille de laurier, cette feuille devint

brune, et prit le même aspect que si elle avait été grillée ; la matière colorante verte, ainsi que la résine, l'alcali et la chaux, avaient été transportés au pôle négatif, tandis que le vase positif renfermait un liquide ayant l'odeur de la fleur de pêcher, lequel, neutralisé par la potasse et essayé par la solution de sulfate de fer, donna la réaction propre à l'acide cyanhydrique.

Ayant établi la communication entre deux vases remplis d'eau distillée, et en relation avec les pôles d'une batterie au moyen d'une tige de menthe en pleine végétation, Davy trouva, quelques minutes après, dans l'eau du vase négatif de la potasse et de la chaux, et dans l'autre un acide précipitant par les solutions de chlorure de barium, de calcium et de nitrate d'argent. La plante ne parut pas altérée ; mais l'expérience ayant été reprise et continuée pendant quatre heures, elle se flétrit et mourut. Ces expériences prouvent que les courants électriques agissent aussi bien sur les plantes vivantes pour séparer leurs éléments que sur les composés inorganiques.

On peut se servir des courants provenant de l'électricité à forte tension, comme l'ont fait MM. Pelletier et Couerbe, pour obtenir les principes immédiats des substances végétales, et reconnaître jusqu'à quel point, par exemple, les alcalis végétaux peuvent être considérés comme préexistant dans les végétaux. On soumet, à cet effet, à l'action de la pile une solution d'opium ; à l'instant même des flocons nombreux s'agglomèrent en petites masses grenues au pôle négatif, et des flocons plus rares et plus légers au pôle positif. Si l'on dissout la matière rassemblée au pôle négatif dans l'alcool et qu'on fasse évaporer spontanément la dissolution, on obtient des cristaux brillants de morphine pure. La matière déposée au pôle positif, qui est d'un blanc jaunâtre, rougit le tournesol et les solutions de peroxyde de fer, et possède tous les caractères de l'acide méconique ; ainsi tout tend donc à prouver que la morphine existe toute formée dans l'opium, puisqu'on n'a employé pour l'obtenir, ni acide, ni alcali. On voit par là que l'on peut se servir de l'action de l'électricité pour découvrir dans des substances animales et végétales la nature des principes immédiats qu'elles renferment.

De l'action des courants provenant de l'électricité à petite tension comme moyen d'analyse dans les composés organiques.

Supposons qu'un disque zinc et cuivre soit placé horizontalement sur un petit support vertical en verre, fixé dans un vase rempli d'eau

distillée, la face cuivre en dessus et la face zinc en dessous. Plaçons sur la première une bande de papier joseph, sur laquelle on répand de l'amidon; douze heures après, le papier tournesol, faiblement rougi par les acides, est ramené au bleu, quand on le met en contact avec l'amidon. En continuant l'expérience, on reconnaît que c'est de la soude seule, sans mélange de potasse, qui est transportée. Voici comment on peut concevoir de quelle manière un courant aussi faible que celui qui est produit dans l'oxydation du zinc est suffisant pour séparer la soude : l'amidon, au contact de l'air, éprouve des changements qui rendent momentanément à ses éléments les états électriques propres à chacun d'eux ; ces éléments, selon qu'ils se comportent comme corps électro-positifs ou corps électro-négatifs, se trouvent dans une circonstance favorable pour obéir à l'action décomposante du couple voltaïque. Dès lors l'alcali, renfermé dans l'amidon, est transporté sur le cuivre, et le corps qui se comporte comme acide sur le zinc. On obtient des effets analogues avec la gomme arabique et l'opium.

Ces faits prouvent qu'avec un seul couple voltaïque on peut retirer des substances végétales quelques-unes de leurs parties constituantes, surtout quand ces substances se trouvent dans un état de fermentation ou de décomposition, qui rend momentanément à leurs parties constituantes leurs facultés électriques propres. C'est dans de telles circonstances que l'on peut trouver le secret de l'influence que peuvent exercer les courants électriques sur la germination ou les autres actes de la végétation.

De l'action des courants sur l'alcool et l'éther, et divers autres composés.

Toutes les fois que l'on soument à l'action d'une pile, composée d'un certain nombre d'éléments, de l'alcool tenant en dissolution diverses substances, même en très-petites quantités, il y a des signes évidents de décomposition. Si l'alcool renferme $\frac{1}{100}$ de potasse caustique, il y a dégagement de gaz au pôle négatif seulement. L'analyse de ce gaz donne des proportions variables d'hydrogène et d'air atmosphérique. En opérant hors du contact de l'air, on n'a que de l'hydrogène pur.

M. Connell, en soumettant à l'action d'une pile de 60 couples trois grammes d'alcool à 0,7928 et 19° de température, a obtenu, en moins d'un quart d'heure, au pôle négatif, un pouce cubique de gaz; le

liquide prit une couleur rougeâtre, et il se déposa peu à peu au fond du vase une matière blanche qui était du carbonate de potasse; la couleur rouge provenait de la formation d'une matière résineuse au pôle positif. Il a obtenu aussi un dégagement de gaz à ce pôle, avec de l'alcool ayant une densité de 0,8358, et tenant en dissolution environ $\frac{1}{100}$ de potasse. Tout porte à croire que l'action produite était due en partie à la décomposition de l'eau contenue dans l'alcool; l'hydrogène était transporté au pôle négatif, tandis que l'oxygène produisait des effets secondaires au pôle positif. Car la quantité d'hydrogène recueillie était la même que celle obtenue daus un voltaïmètre, faisant partie du circuit.

En opérant avec une très-forte pile sur de l'alcool pur, l'eau de combinaison est seule décomposée; l'hydrogène se dégage au pôle négatif, tandis que l'oxygèue produit des composés secondaires à l'autre pôle. En plaçant un voltaïmètre dans le circuit, on recueille encore la même quantité d'hydrogène; ainsi il n'est pas permis de douter que l'eau ne soit le sujet de la décomposition et qu'elle ne soit aussi un des principes constituants de l'alcool. Ce qui tend encore à confirmer cette conjecture, c'est qu'eu expérimentant sur de l'alcool pur, on ne tarde pas à développer l'odeur de l'éther. L'alcool ou l'hydrate d'éther aurait donc été décomposé en ses deux principes, et les deux éléments de l'eau auraient été séparés en même temps.

On ne peut se faire une idée de la quantité minime de potasse qu'il faut ajouter à l'alcool pur pour avoir des indices de décomposition. Avec uue pile de 50 couples, si l'alcool renferme $\frac{1}{8000}$ de potasse, on aperçoit aussitôt un faible courant de petites bulles au pôle négatif. Il est probable que la présence de la potasse augmente suffisamment la conductibilité de l'alcool pour déterminer l'action électro-chimique.

L'éther rectifié, soumis au même mode d'expérimentatiou que l'alcool, ne donne que des résultats négatifs. A la vérité, il ne dissout qu'une quantité à peine perceptible de potasse. Il en est encore de même en opérant avec une forte solution éthérée de deutochlorure de mercure, de chlorure de platine, etc., etc. Il est donc probable que l'éther ne renferme pas d'eau de combinaison, à moins cependant qu'il ne se forme des produits secondaires pendant l'électrisation.

L'esprit pyroligneux, soumis à l'action voltaïque, conduit à des résultats semblables à ceux obtenus avec l'alcool; seulement, comme la quantité absolue d'eau est peu considérable, il faut agir avec des courants moins puissants.

On a soumis à l'actiou d'une pile de 72 éléments de l'esprit pyroli-

gneux rectifié dans un tube au moyen de deux lames de platine; en quelques minutes il s'est dégagé du gaz, qui a été recueilli sur le mercure; les lames de platine ayant été placées à quelques millimètres de distance, on a eu du gaz hydrogène, mêlé d'air atmosphérique et de vapeur d'esprit pyroligneux, au pôle négatif. Une petite quantité de potasse caustique activait fortement l'action décomposante, comme avec l'alcool.

Lorsque l'esprit pyroligneux ne renferme qu'une très-petite quantité de potasse, il n'y a pas de formation de carbonate de potasse; mais il n'en est pas de même en employant une forte solution d'alcali. Dans ce cas, et en ne se servant que d'une pile de 36 couples, il se dégage du gaz sur les deux lames, mais plus abondamment sur la lame négative que sur l'autre. Le liquide bouillonne en quelques minutes et acquiert bientôt une couleur rouge et une forte odeur; il se dépose en même temps du carbonate de potasse; mélangé avec de l'eau, il se trouble et se colore en jaune par suite de la séparation de la matière résineuse ou autre qui se forme pendant l'action voltaïque. On voit donc qu'avec l'esprit pyroligneux, comme avec l'alcool, l'eau est décomposée. On est porté à croire que l'accroissement qu'éprouve l'action voltaïque par la présence de la potasse dans l'un de ces deux composés, peut provenir, comme nous l'avons dit plus haut, d'une faculté conductrice plus grande qu'acquiert le liquide, ou peut-être encore de l'affinité de la potasse pour les produits secondaires.

D'après l'analogie d'action qu'éprouvent l'alcool et l'esprit pyroligneux, soumis à l'action voltaïque, on peut considérer l'esprit pyroligneux comme un hydrate d'éther pyroligneux, de même que l'alcool est un hydrate d'éther sulfurique. D'après ces idées, et la composition chimique, on aurait pour la formule de l'éther pyroligneux $H^6 C^2 O$, et pour celle de l'esprit pyroligneux $H^6 C^2 O + H^2 O$.

Décomposition électro-chimique des solutions alcooliques.

Nous allons retrouver des effets analogues aux précédents dans l'action de l'électricité sur les solutions alcooliques.

Lorsqu'un oxacide à base assez puissante, comme le nitrate de chaux, est dissous dans l'alcool absolu, l'acide et la base cheminent chacun à leur pôle respectif, comme dans une solution aqueuse; mais l'action est beaucoup plus lente. Il y a dégagement de gaz au pôle négatif et peu ou point au pôle positif. Si l'oxyde est facilement réductible, le dégagement est nécessairement moindre.

M. Connell, qui s'est beaucoup occupé de cette question, a conclu de ses expériences, que tout tend à prouver, conformément au principe précédemment énoncé, que lorsque des solutions alcooliques d'acide, d'alcali et de sels oxacides, sont soumises à l'action d'un courant, l'eau de l'alcool est le sujet de l'action directe du courant, tandis que les corps dissous, à l'exception des sels oxacides, ne sont pas décomposés. Quant aux solutions alcooliques des sels haloïdes, il est permis de croire, d'après la présence de l'élément électronégatif au pôle positif, du moins avec les iodures, que c'est réellement le sel haloïde qui est directement décomposé, et que la quantité définie d'hydrogène, recueillie au pôle négatif, provient de la réaction du métal du sel décomposé sur l'eau constituante de l'alcool.

Des modifications chimiques qu'éprouvent l'alcool et l'éther sous la double influence d'un courant voltaïque et du platine.

Le platine, dans un grand état de division, détermine l'alcool à absorber assez rapidement de l'oxygène qui se combine avec une portion de son hydrogène. M. Schœnbein a pensé qu'il était probable que l'oxygène à l'état naissant et qui se dégage sous l'action du courant, devait agir de la même manière sur l'alcool et l'éther. Cette conjecture a été vérifiée de la manière suivante : on prend un mélange de 1 volume d'eau et 2 volumes d'alcool, dans lequel on fait dissoudre une petite quantité d'acide phosphorique hydraté, pour augmenter la conductibilité du mélange. Si l'on fait passer dans ce liquide le courant d'une pile de 16 couples, que l'on prenne une éponge de platine pour électrode positif, il ne se dégage pas d'oxygène sur l'éponge, pourvu toutefois qu'on l'ait fait chauffer jusqu'au rouge avant l'immersion. En substituant un fil de platine à l'éponge, il se dégage toujours de l'oxygène, quel que soit le mode de préparation qu'on lui ait fait subir. On ne peut savoir ce qui se passe dans cette circonstance, attendu que M. Schœnbein n'a pas analysé le liquide; mais il est probable qu'il a dû se former de l'éther oxygéné de Dœbereiner ou de l'acétate d'éther de M. Liébig.

Si l'on opère sur un mélange formé de volumes égaux d'eau, d'alcool et d'acide sulfurique ordinaire, on obtient des résultats qui s'accordent parfaitement avec ceux dont on vient de parler. Ce n'est qu'en se servant d'éponge de platine comme électrode positif que le dégagement d'oxygène peut être entièrement arrêté, et que l'on sent l'odeur d'acétate d'éther sur la surface du métal.

En opérant avec un mélange d'un volume d'acide nitrique à 1,35 et d'un volume d'alcool, il ne se dégage aucun gaz sur les électrodes, quand l'un et l'autre sont en éponges de platine. En se servant du platine compacte pour électrode négatif, il se fait sur ce dernier un dégagement abondant d'hydrogène. Quand l'électrode positif est formé d'un peloton un peu gros de fil de platine, on ne voit également aucune trace d'oxygène à sa surface. L'odeur d'acétate se fait sentir sur le platine en éponge ou en peloton, de même que dans les cas précédents.

Si l'on soumet à l'expérience un mélange composé de volumes égaux d'acide nitrique, d'alcool et d'eau, le dégagement d'hydrogène sur l'électrode négatif formé d'une éponge de platine, a lieu sans difficulté, tandis qu'il ne se montre pas sur l'électrode positif formé de platine en éponge ou de platine compacte.

En prenant pour électrode positif un fil ou une lame de fer, il y a un dégagement assez vif d'oxygène. Il semblerait résulter de là que le phénomène ne provient pas de ce que l'oxygène, étant à l'état naissant, réagit sur l'alcool, mais bien de l'influence exercée par le platine en éponge sur l'oxygène et l'hydrogène. En prenant pour électrode un fil d'or, il se dégage à sa surface de l'oxygène, mais en moins grande quantité que sur le fer.

Quoi qu'il en soit de cette explication, nous n'en pensons pas moins que l'action combinée des courants et des éponges métalliques peut être employée dans un grand nombre de cas, quand on veut étudier la composition chimique des substances organiques, et surtout déterminer la nature des principes immédiats qui peuvent exister tout formés dans ces substances ou se produire quand leurs éléments se séparent. Cette double action ne peut manquer de donner naissance à des effets puissants, à l'aide desquels on entrevoit la possibilité de produire quelques-uns des composés organiques analogues à ceux que l'on trouve dans la nature.

De l'influence de l'électricité sur la fermentation alcoolique.

Nous ne terminerons pas ce qui concerne les propriétés électrochimiques des matières organiques appartenant aux végétaux, sans dire quelques mots touchant l'influence qu'exerce l'électricité sur la fermentation alcoolique.

Lorsque l'on plonge deux fils de platine en relation avec une forte batterie voltaïque, dans du jus de raisin conservé à l'abri du contact

de l'air, la fermentation ne tarde pas à se manifester, comme l'a observé M. Gay-Lussac. Il en est de même à l'égard d'une dissolution sucrée, qui, sans l'action voltaïque, ne fermenterait que longtemps après. De là on doit conclure que le passage de l'électricité dans les substances fermentescibles y détermine un mouvement moléculaire capable de produire le phénomène. Serait-ce par hasard à la présence de l'oxygène résultant de la décomposition de l'eau, et qui est à l'état naissant, qu'on devrait attribuer l'effet? C'est ce qu'on ignore.

Les observations suivantes de M. Colin ne seront pas sans intérêt pour les personnes qui voudront étudier la question dont nous nous occupons.

L'extrait de levûre ou ferment soluble, qui est une substance brune, savoureuse, aromatique, dont la solution ne s'altère pas sensiblement à l'air, se comporte comme un ferment, quand il a été purifié par l'alcool; mais si l'on filtre la dissolution avant d'y ajouter du sucre, elle ne possède plus la propriété de transformer celui-ci en alcool; on la lui rend au moyen de l'action voltaïque. En faisant l'expérience sur un mélange de sucre et d'extraits préparés par des dissolutions alternatives et réitérées dans l'eau et l'alcool, il se dépose au pôle positif de petites écailles ou pellicules, et du gaz aux deux pôles. Si ce mélange, au lieu d'être électrisé, est abandonné à lui-même, il se prend au bout de huit ou dix jours en un liquide trouble et très-visqueux; et que, dans cet état, on l'électrise pendant quelques minutes avec la machine électrique ou la bouteille de Leyde, la fermentation s'y établit au bout de peu de jours, quoique lentement, et continue ensuite trois semaines; la liqueur alcoolique devient gazeuse et muqueuse, et on en sépare de la gomme avec le filtre.

On voit par là que la levûre, dans un certain état, peut convertir en alcool ou en gomme la matière sucrée, selon que l'on emploie ou non l'action de l'électricité.

Action de l'électricité sur les matières animales.

Quand l'électricité traverse un corps, elle exerce, outre l'action chimique, une action répulsive sur toutes ses parties. Si son énergie est suffisante pour vaincre la force d'agrégation, le corps se trouve brisé, fondu ou volatilisé, suivant sa nature. C'est ainsi que MM. Prévost et Dumas, en faisant passer des étincelles électriques à travers une petite goutte de sang, ont observé que celle-ci prenait

un aspect framboisé, annonçant la séparation partielle des globules élémentaires qui la composaient. Passons à l'action voltaïque.

Si l'on soumet pendant plusieurs jours à l'action d'une batterie voltaïque composée d'un grand nombre d'éléments, un morceau de chair musculaire servant à établir la communication entre deux vases remplis d'eau distillée, dans chacun desquels plonge une lame de platine en relation avec la batterie, ce morceau devient sec et dur, et ne laisse aucune trace de matière saline après l'incinération. Dans le vase négatif, on trouve de la potasse, de la soude, de l'ammoniaque et de la chaux; dans le vase positif, de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique, de l'acide chlorhydrique et de l'acide phosphorique. On voit donc qu'il ne restait plus du morceau de chair musculaire que des charbons et des matières ne contenant plus ni alcalis, ni terre.

Davy, en soumettant à l'action d'un courant traversant deux vases remplis d'eau distillée, mis en relation avec une matière organique vivante, de la substance animale, est parvenu également à vaincre les affinités de certaines combinaisons. Ayant plongé ses doigts, préalablement lavés avec de l'eau distillée, dans le vase positif, renfermant de l'eau très-pure, il apparut rapidement une substance acide, qui avait les caractères d'un mélange d'acide chlorhydrique, d'acide phosphorique et d'acide sulfurique. En plongeant le doigt dans le vase négatif, il s'y manifesta promptement aussi une substance alcaline fixe. Or, puisque les substances acides et alcalines peuvent être séparées de leur combinaison dans les corps vivants, au moyen des forces électriques, il est possible d'introduire par le même moyen, dans l'intérieur du corps, diverses substances capables de réagir chimiquement sur les organes. Il suffit pour cela d'humecter un linge de la dissolution contenant le principe que l'on veut introduire (supposons une dissolution d'iodure de potassium), de l'appliquer sur une partie quelconque du corps, de poser dessus une lame de platine en relation avec le pôle négatif, et d'introduire dans une autre partie, au moyen de l'acupuncture, une aiguille de platine communiquant avec l'autre pôle; on ne tarde pas à reconnaître avec des réactifs convenables la présence de l'iode à l'extrémité de la pointe.

De la coagulation de l'albumine.

L'albumine joue un si grand rôle dans l'économie animale, que quiconque veut appliquer l'électricité à l'examen des composés liquides qui en dépendent, doit connaître le mode d'action qu'exercent les courants sur cette substance.

Brandt avait observé que l'albumine du blanc d'œuf se coagulait au pôle positif. MM. Prévost et Dumas reconnurent en outre qu'il se formait au pôle négatif une substance analogue à la gelée, parfaitement transparente et possédant des propriétés propres au mucus. Ces deux coagulums sont, l'un, de l'albumine combinée avec l'acide qui se porte au pôle positif, et l'autre, de l'albumine combinée avec de l'alcali qui se rend au pôle négatif.

M. Dutrochet, en s'occupant de la même question, a reconnu également que les solutions alcalines concentrées coagulent l'albumine, et que quelques acides, tels que les acides acétique et phosphorique, dissolvent l'albumine, quand ils n'ont qu'une énergie médiocre, tandis que l'acide nitrique ne produit l'effet que lorsqu'il est très-concentré. En étudiant avec un microscope les effets d'un courant sur du blanc d'œuf, placé sur une petite lame de verre entre les deux bouts libres de deux fils de platine en communication avec une pile, il a observé qu'il se formait autour du pôle positif une sorte d'atmosphère transparente, à laquelle il a donné le nom d'onde positive, et qui n'est autre que de l'albumine dissoute dans de l'acide faible ; autour de cette onde, et par conséquent dans l'albumine environnante, on aperçoit des ondulations continuelles. En soumettant à l'expérience de l'eau rendue émulsive par le jaune d'œuf, on observe d'autres effets : dès l'instant que les deux fils conjonctifs sont mis en communication avec la pile, on voit une onde diaphane jaunâtre naître autour du pôle négatif, et une onde opaque à sa circonférence et diaphane, jaunâtre, à son centre au pôle positif. L'onde alcaline paraît être due à la matière organique du jaune d'œuf dissoute dans un alcali, et l'onde positive à la même matière dissoute dans un acide, l'acide et l'alcali provenant de la décomposition électro-chimique des sels contenus dans le liquide.

Les deux matières organiques, dissoutes l'une dans un acide, l'autre dans un alcali, conservent leur structure globulaire ; ce sont les petits globules qui, par leur rapprochement, forment la partie opaque de l'onde positive. Quoiqu'on n'aperçoive aucun globule dans l'onde négative, il en existe cependant, comme on peut le voir, en substituant au jaune d'œuf quelques gouttes de lait. Les deux ondes s'éloignent de plus en plus des pôles, et finissent par se toucher. A leur intersection commune, il se forme un solide allongé, formé d'un agglomérat de globules. En intervertissant les communications avec la pile, c'est-à-dire en rendant négatif le fil positif, et réciproquement, il se produit une autre série de phénomènes : le coagulum

central s'efface peu à peu, la matière est dissoute et finit par disparaître entièrement. On voit alors apparaître deux nouvelles ondes semblables aux précédentes, et qui s'avancent et produisent les mêmes effets.

Si l'on ajoute à l'émulsion de jaune d'œuf, une quantité extrêmement petite d'alcali, on n'obtient plus qu'une seule onde, qui est celle du pôle positif; tout le reste du liquide forme l'onde négative. Le coagulum a lieu toujours à la jonction commune ; en rendant l'émulsion légèrement acide, il ne se manifeste que l'onde alcaline.

Les résultats précédents sont d'autant plus remarquables que jusqu'ici on n'avait observé des précipités, dans les dissolutions soumises à l'action de la pile, qu'à l'extrémité des fils métalliques. Dans ce cas-ci, ils se forment entre les deux pôles ; ils sont dus à la rencontre des globules chassés des pôles par l'action du courant. Voici les conséquences qui peuvent être tirées de ces faits : les muscles, les nerfs, et en général les tissus organiques, sont formés de globules, dont les dimensions sont les mêmes pour chaque organe. Or, si nous considérons ces globules comme les particules organiques élémentaires, nous devons les assimiler aux particules des composés inorganiques, et leur supposer par conséquent des propriétés électriques analogues ; dès lors il est probable qu'il existe des globules jouissant de la faculté, quand ils sont séparés d'une combinaison par l'action d'un courant, de se transporter les uns au pôle positif, les autres au pôle négatif. La coagulation doit donc avoir lieu lorsque deux globules, possédant des électricités contraires, se rencontrent au milieu de leur course entre les deux pôles, et que de leur combinaison doit résulter un composé insoluble. Cependant il pourrait se faire que l'acide et l'alcali qui servent de dissolvants aux globules, venant à se combiner, abandonnassent ces mêmes globules, ce qui produirait le coagulum.

Digitized by Google

LIVRE VI.

DE L'ACTION DE LA CHALEUR SUR LES CORPS.

La chaleur, en pénétrant dans les corps, modifie leurs propriétés physiques ou leur arrangement moléculaire, les décompose quelquefois en isolant les éléments ou produisant de nouvelles combinaisons. La partie de la physique, qui traite de cette action, comprend le changement de volume, le changement d'état des corps, et la propagation de la chaleur dans leur intérieur. Dans ce qui concerne le changement de volume, on expose la thermométrie, dont nous avons parlé, la dilatation des corps solides, liquides ou gazeux; dans la partie qui traite du changement d'état, la solidification, la fusion, l'ébullition et l'évaporation, la formation des vapeurs dans le vide et dans les gaz; dans la partie de la propagation de la chaleur, les phénomènes généraux de la chaleur rayonnante dans l'air et dans le vide, les lois du refroidissement, les quantités de chaleur émises ou perdues, ainsi que les conditions générales de l'équilibre de température, la conductibilité des corps pour la chaleur, enfin les phénomènes généraux relatifs à la chaleur rayonnante qui traverse les corps. Toutes ces questions étant traitées avec de grands développements dans les traités de physique, nous pouvons nous dispenser d'en parler; nous en excepterons cependant celle qui concerne le mode de transmission de la chaleur rayonnante, parce qu'elle rentre dans le cadre de notre ouvrage, qui a pour but d'exposer tous les faits qui peuvent jeter quelque lumière sur la constitution moléculaire des corps.

CHAPITRE PREMIER.

De la transmission de la chaleur rayonnante dans les corps.

Lorsqu'un corps est placé dans un milieu où se trouvent d'autres corps, dont la température est plus ou moins élevée que la sienne, un équilibre de température ne tarde pas à s'établir entre tous ces corps, par suite d'un rayonnement calorifique d'un corps à l'autre, celui qui en a le plus en cédant à celui qui en a le moins. Cette transmission s'opère non-seulement quand les corps sont en contact, mais encore lorsqu'ils sont à distance.

On appelle chaleur rayonnante, cette portion de la radiation calorifique émise par un corps chaud à travers les milieux non résistants, et au moyen de laquelle s'opère l'équilibre de température. C'est en raison de l'analogie qui existe entre la chaleur rayonnante et la lumière, qu'on a appelé rayons calorifiques, les rayons qui produisent les effets dont nous parlons, et qui sont soumis aux mêmes lois physiques que celles qui régissent les propriétés des rayons lumineux.

Dans les phénomènes de la chaleur rayonnante, on distingue le pouvoir émissif, le pouvoir réflecteur et le pouvoir absorbant, dont nous avons déjà parlé dans la notice historique, et le principe de l'équilibre mobile de température, dont voici l'énoncé :

Concevons une enceinte fermée quelconque, dont tous les points possèdent au même degré les pouvoirs rayonnants, absorbants et réfléchissants. La surface extérieure de cette enceinte étant maintenue à une température invariable quelconque, la surface intérieure aura la même température au bout d'un certain temps, et l'équilibre existera dans toute l'étendue de l'enceinte, quelle que soit sa grandeur. Pour concevoir cet équilibre, on peut admettre 1° que la surface intérieure ayant perdu sa faculté rayonnante, chacun des points n'émet et ne reçoit rien, de sorte que tout est dans un état d'immobilité; 2° que malgré l'équilibre, la surface intérieure conservant encore la faculté rayonnante, chacun de ses points émet des rayons calorifiques dans tous les sens et en reçoit également de tous côtés; de cette manière, le calorique est toujours en mouvement,

quoique la température soit fixe. Cette seconde hypothèse, dont l'idée appartient à M. Prévost de Genève, constitue le principe *de l'équilibre mobile de température*, d'après lequel un corps quelconque, quelle que soit sa température, rayonne constamment de la chaleur dans tous les sens et en reçoit des corps environnants. Ce principe, défini rigoureusement par Fourier et développé dans les ouvrages sur la chaleur de de Laplace et Poisson, rend compte de tous les faits relatifs au rayonnement de la chaleur.

Les lois physiques de la chaleur étant les mêmes que celles de la lumière, il s'ensuit 1° qu'elle se réfléchit en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence; qu'elle se polarise également suivant des lois semblables; qu'elle se réfracte, en donnant un indice de réfraction qui présente peu de différence avec l'indice de réfraction de la lumière; 2° que le décroissement de son intensité est en raison inverse du carré de la distance; 3° que l'intensité des rayons de chaleur est proportionnelle au cosinus de l'angle que forment ces rayons avec la normale de l'élément qui rayonne; 4° que la vitesse de la chaleur est la même que celle de la lumière. Cependant M. Wrède, en s'appuyant sur le principe suivant, a trouvé une différence : « Si la chaleur a la même vitesse que la lumière dans un télescope, l'image calorifique du disque solaire sera superposée à l'image lumineuse; mais s'il en est autrement, la chaleur aura une plus grande ou une plus petite aberration que la lumière, et les deux images calorifique et lumineuse du soleil ne se superposeront pas; ce fait sera indiqué par la différence de température entre le bord oriental et le bord occidental de l'image solaire.» En faisant usage d'un appareil thermo-électrique très-sensible, M. Wrède a trouvé, d'après ce qu'il a annoncé, une différence d'une fraction de degré, indiquant que la température du bord oriental est supérieure à celle de l'autre bord. La chaleur présenterait donc une aberration plus grande que celle de la lumière. D'après le calcul des positions du centre des images calorifique et lumineuse, M. Wrede en a conclu que la vitesse de la chaleur est à celle de la lumière :: 20″,25 : 25″,03, ou comme 4 : 5. Ces résultats contredits par quelques personnes ne seront adoptés que lorsque les expériences rapportées auront été répétées avec un égal succès. Nous ferons seulement remarquer que la différence d'une fraction de degré trouvée par M. Wrède dans la déviation de l'aiguille aimantée du multiplicateur thermoélectrique, est insignifiante, car on sait parfaitement qu'avec un appareil très-sensible la déviation d'une fraction de degré peut être produite par des causes qui échappent à l'observation.

Admettons donc les lois physiques de la chaleur, et occupons-nous de la transmission de la chaleur rayonnante à travers les corps.

Les corps peuvent être divisés en deux classes, relativement à la propriété qu'ils possèdent de transmettre les rayons calorifiques ou de les arrêter. La première renferme les corps diathermanes, ainsi dénommés, parce qu'ils livrent passage à la chaleur rayonnante, comme les corps transparents laissent passer la lumière ; la deuxième, les corps athermanes, ou qui sont privés de cette faculté, à un degré plus ou moins marqué. Bien que la chaleur rayonnante jouisse de propriétés analogues à celles de la lumière, tous les corps transparents ne sont pas également diathermanes, de même que tous les corps opaques ne sont pas également athermanes.

Pour mesurer la quantité de rayons calorifiques qui traversent une substance, il faut recevoir ces rayons sur la boule d'un thermomètre, sur celle d'un thermoscope, ou, ce qui est préférable, sur l'une des faces d'une pile thermo-électrique, en relation avec un multiplicateur, et dont la surface est recouverte d'une couche de noir de fumée, pour augmenter le pouvoir absorbant. Ce dernier appareil, en raison de son instantanéité d'action et de sa sensibilité, est le plus convenable pour ce genre de recherches. Delaroche est le premier qui ait mis hors de doute la transparence de certains corps pour la chaleur. Les faits observés par lui ont été confirmés et considérablement étendus par M. Melloni, dont les beaux travaux constituent aujourd'hui une des parties importantes de la physique.

Nous allons donner la description détaillée de tous les appareils de M. Melloni, pour étudier les propriétés physiques de la chaleur rayonnante, même la réflexion, la réfraction et la polarisation, afin que l'on puisse saisir à la première vue leur usage et le mode d'opération. La planche XII contient tous ces appareils.

Figure 1. Appareil complet pour observer les effets de la chaleur rayonnante, à travers des lames ou écrans de diverses substances. TT, table en bois avec quatre vis à caler, sur laquelle est fixée une barre BB, sur laquelle on fait glisser les pieds p p' p'' p''' p^{IV} p^{V} p^{VI}.

p, sert à supporter une lampe d'Argant L ; p' est un cylindre creux dans lequel glisse avec frottement une tige en cuivre, à l'extrémité de laquelle se trouve un écran E que l'on tourne dans la direction où l'on veut empêcher le rayonnement calorifique de la lampe, et pour garantir en particulier de son action le galvanomètre G; p'', support de l'écran E' qui peut s'abaisser d'un côté ou de l'autre par une charnière ; p''', support de l'écran E'', percé à son centre d'une

ouverture dont on diminue le diamètre au moyen d'un diaphragme D mobile autour d'un axe adapté et fixé à l'écran E''; p^{iv}, pied qui soutient la tablette sur laquelle sont posés les objets soumis à l'expérience ; p^{v}, support de la pile thermo-électrique P, en rapport avec le galvanomètre G ; p^{vi}, support de l'écran E''', mobile autour d'une charnière, et destiné à empêcher le rayonnement des objets extérieurs sur la face de la pile en regard ; C, compas magnétique destiné à augmenter la sensibilité du galvanomètre.

Fig. 2. Appareil pour la réflexion et la réfraction de la chaleur rayonnante. Les pieds p p' p'' p''' remplissent le même usage que dans l'appareil précédent. La lampe L est une lampe à alcool, dans la flamme de laquelle se trouve une spirale de platine fixée à une petite tige t ; le pied p^{iv} supporte une tablette sur laquelle est placée la lame mm sur laquelle doit se réfléchir la chaleur que l'on reçoit sur l'une des faces de la pile P, dont le pied p^{v} est mobile sur la règle R'R'. Dans les expériences de réfraction, on remplace la tablette ss par la tablette $s's'$, fig. 3, sur laquelle se trouve le prisme dans lequel la chaleur rayonnante est transmise.

Fig. 4. Appareil pour la polarisation de la chaleur ; les pieds p p' p'' p^{iv} p^{v} ont une destination déjà indiquée dans la fig. 1re, si ce n'est que le pied p^{iv} remplit le même office que le pied p^{v} de la fig. 1re. Le pied p''' supporte un écran percé à son centre d'une large ouverture circulaire, en avant de laquelle se trouve un cadre mobile autour d'un axe horizontal, et dans lequel on place une lame épaisse de mica, qui peut être ainsi inclinée de toutes les manières possibles, relativement au rayon incident.

Fig. 5. Autre appareil pour la polarisation. Dans cet appareil, la disposition du cadre adapté à l'écran du pied p''', diffère de la précédente en ce que le cadre qui porte la pile de mica est incliné sur l'écran et est mobile autour d'un axe perpendiculaire à ce dernier. Le pied p^{v} supporte un écran semblablement disposé, si ce n'est que le cadre est incliné en sens inverse ; de sorte qu'en faisant tourner l'un d'eux, l'angle des deux plans des piles de mica varie depuis zéro jusqu'à un angle maximum.

Fig. 6. Lampe servant à échauffer un cube plein ou creux, dont les surfaces latérales ne sont pas dans le même état.

Fig. 7. Appareil destiné à étudier la chaleur diffuse qui tombe sur les corps, chaleur provenant d'une enveloppe métallique échauffée par la lampe, et reçue après avoir traversé des écrans dans un réflecteur conique.

On savait que lorsqu'on place devant un thermomètre très-sensible, sur la même ligne, deux écrans de verre de même épaisseur, le second fait éprouver à la chaleur qui se présente pour le traverser, une perte proportionnellement moindre que le premier. L'effet thermométrique produit par la chaleur rayonnante qui a traversé un écran diaphane, croît avec la température de la source, dans un rapport plus grand que cette température elle-même.

Les sources de chaleur, à température constante, dont M. Melloni a fait usage, sont fournies par la flamme de deux lampes, l'une dite de Locatelli L (fig. 1), l'autre L à alcool (fig. 2). Cette dernière donne deux sources différentes, au moyen d'une spirale en platine et d'une plaque de cuivre noircie, supportées par des tiges soudées que l'on fait entrer latéralement dans le support S. De cette manière la spirale enveloppe la flamme, et la plaque la couvre à la partie antérieure seulement. Dans le premier cas, on a une source incandescente sans flamme; dans le second, on a une source de chaleur obscure, dont la température moyenne est d'environ 400° centigrades.

Les substances diathermanes ou athermanes remplissant les fonctions d'écrans, sont des morceaux ou des lames de ces substances, polies sur les deux grandes faces parallèles, et qui ont un peu plus de largeur que l'ouverture de l'écran E″ (fig. 1). On les place sur la tablette horizontale S, et devant l'ouverture *o*, en les y assujettissant convenablement.

On fait usage d'écrans E, E′, E″, formés de lames métalliques parallèles, parfaitement polies, portant à leur partie supérieure un bouton en ivoire, et à la partie inférieure une charnière, au moyen de laquelle on les abaisse dans un plan vertical, perpendiculaire à celui qui passe par la barre BB. L'un d'eux E′ sert à intercepter ou à établir la communication calorifique entre la source et la face antérieure de la pile; l'autre E‴ est principalement destiné à abriter la seconde face de la pile des rayonnements extérieurs, lorsque son tube est ouvert. Indiquons de quelle manière fonctionne l'appareil (fig. 1). Supposons que le corps placé sur le support S soit enlevé, et que l'on abaisse l'écran E′; les rayons calorifiques, émanés de la source de chaleur, passeront par l'ouverture *o*, traverseront la lame et tomberont sur la face antérieure de la pile; l'aiguille aimantée du multiplicateur sera aussitôt déviée de sa position d'équilibre, et décrira un angle d'un certain nombre de degrés, puis rétrogradera de quelques degrés, et se

mettra à osciller, après quoi elle prendra une position fixe d'équilibre, tant que la source de chaleur ne changera pas. Au moyen de la table des intensités (*Traité de l'électricité*, t. III, p. 432 et suivantes), on connaît le rapport entre les déviations et les intensités du courant et par suite les températures, c'est-à-dire les quantités de chaleur acquises par la face de la pile, et par conséquent celles transmises par la substance mise sur le support S.

Si l'on place successivement devant l'ouverture *o*, trois plaques bien transparentes, d'une épaisseur de trois à quatre millimètres, l'une d'alun, l'autre de sel gemme, et la troisième de verre ou de cristal de roche, lorsque la communication calorifique est établie, l'aiguille qui se trouvait par exemple à 30°, tombe à 3 ou 4°, pendant que les rayons traversent l'alun ; elle marche encore vers sa position primitive, et s'arrête à 28° dans le cas du sel gemme ; elle retombe à 15 ou 16 degrés, par l'interposition du verre ou du cristal de roche. Ces trois résultats nous montrent immédiatement que des plaques de diverses substances, également diaphanes et également épaisses, ne sont pas capables de transmettre la même quantité de chaleur rayonnante.

Si l'on substitue à l'alun un morceau de cristal de roche enfumé à faces parallèles, d'une épaisseur beaucoup plus grande, l'index quittera sa position fixe de 3 à 4°, et se portera à 14 ou 15°. Il résulte de là que de deux corps également diaphanes, il peut arriver que le plus épais et le moins transparent transmette la plus grande quantité de rayons calorifiques. Ces faits, et d'autres que nous pourrions citer encore, montrent donc que la transparence des corps, pour la chaleur rayonnante, est différente de la transparence proprement dite.

Si l'on forme, par exemple, deux couples juxtaposés, l'un avec un verre vert, imperméable aux rayons rouges, et la plaque d'alun; l'autre avec un verre noir, parfaitement opaque, et la plaque de sel gemme, on trouve, en les plaçant successivement devant l'ouverture *o*, que le premier couple ne donne aucune transmission sensible, tandis que le second produit une déviation de 7 ou 8°; il existe donc des combinaisons de deux milieux, qui laissent passer une quantité notable de rayons lumineux, et interceptent sensiblement tous les rayons calorifiques, tandis que d'autres agissent précisément en sens contraire. On voit par là que certains corps sont diathermanes, quoique parfaitement opaques; que les verres verts de l'espèce que nous venons d'indiquer ne sont pas athermanes par eux-mêmes,

mais le deviennent, accouplés à l'alun, qui est faiblement diathermane.

Les couleurs proprement dites ne paraissent avoir aucune action élective sur les rayons de chaleur; elles agissent seulement sur la transmission du calorique rayonnant, comme le font les matières brunes sur la transmission de la lumière.

M. Melloni a montré que la quantité de chaleur rayonnante qui traverse une plaque diaphane, est d'autant plus grande que sa surface est plus polie. Voici comment ce fait a été mis en évidence. Il a placé successivement devant l'ouverture du diaphragme des plaques en verre de même épaisseur $8^{mm},3712$, mais dont la surface antérieure était ou polie ou usée avec du sable, de l'émeri ou autre substance. Il a trouvé que la quantité de chaleur rayonnée à travers une plaque diaphane est d'autant plus grande que sa surface est plus polie, et que les pertes vont en diminuant à mesure que l'épaisseur augmente d'une quantité constante. On obtient des résultats semblables en opérant avec de l'huile de colza, renfermée dans une auge terminée par des lames de verre parallèles, variables depuis 2^{mm} jusqu'à 81^{mm}; on a reconnu que les déviations de plus en plus petites indiquées par le multiplicateur, correspondaient à des intensités telles, que les pertes de chaleur diminuaient à mesure que l'épaisseur augmentait; c'est-à-dire, que lorsque la chaleur rayonnante a traversé une lame de verre, elle en traverse une autre semblable avec une perte bien moindre, comme l'avait déjà observé Delaroche. Ce fait a été vérifié non-seulement sur le verre, mais encore avec différents liquides.

La nature du corps diaphane exerce une très-grande influence sur la quantité de chaleur transmise; aussi en représentant par 100 la quantité de rayons qui tombent sur la surface incidente, on a pour les rayons transmis, en prenant pour source de chaleur la lampe d'Argant :

LIQUIDES.

Épaisseur de l'auge $9^{mm},21$.
Rayons incidents.... 100

Quantité de rayons transmis.	
Carbure de soufre....	63
Huile d'olive.....	30
Éther.....	21
Acide sulfurique pur incolore.....	17
Alcool absolu incolore.....	15
Acide acétique rectifié.....	12
Eau.....	11

SOLIDES.

Épaisseur de l'écran... $2^{mm},62$
Rayons incidents.... 100

Quantité de rayons transmis.	
Sel gemme.....	92
Spath d'Islande.....	62
Verre à glace.....	62
Cristal de roche incolore.....	62
Cristal de roche enfumé.....	57
Topaze incolore.....	54
Tourmaline verte....	27
Chaux fluatée incolore	15
Chaux sulfatée.....	20
Alun.....	12

VERRES COLORÉS.

	mm.
Épaisseur commune.....	1,85
	Rayons transmis.
Violet foncé.....	53
Rouge pourpre.....	51
Bleu clair.....	42
Jaune foncé.....	40
Jaune doré.....	33
Vert minéral.....	22
Bleu très-foncé.....	19

Des plaques de spath d'Islande et de cristal de roche enfumé, ayant de 86 à 100^{mm} d'épaisseur, laissent passer plus de la moitié de la chaleur incidente, tandis qu'une plaque d'alun d'une épaisseur de 1 mill., et dont la transparence est aussi grande que celle du verre, n'en laisse passer que $\frac{17}{100}$. De là il faut conclure, comme nous l'avons déjà dit, que la transparence des corps pour la lumière n'est pas la même que pour la chaleur. Il est infiniment probable qu'il existe des corps non transparents pour nous, parce que notre rétine n'est pas assez impressionnable, et qui le sont assez pour d'autres animaux doués d'une plus grande sensibilité de vision. Par exemple, les poissons qui se trouvent dans les plus grandes profondeurs des mers, à plusieurs centaines de mètres au-dessous de leur surface, voient probablement à se conduire, tandis que nous, nous ne pourrions y distinguer aucun objet. Cette différence ne peut

provenir que d'une plus grande sensibilité de la rétine chez les habitants des mers que chez l'homme.

Les nombres inscrits dans les tableaux précédents ne représentent les quantités de rayons transmis que pour une source déterminée de chaleur, car ils varient d'une source à une autre, comme on va le voir. M. Melloni a substitué successivement à la lampe d'Argant, un fil de platine incandescent, maintenu à la température rouge au moyen de la flamme d'une lampe à alcool, du cuivre échauffé à 4 ou 500° avec la même flamme, et un cube (fig. 6) rempli de mercure ou d'eau en ébullition, puis il a employé ensuite une lampe Locatelli (sans verre). Avec ces diverses sources de chaleur, les substances essayées ont toujours conservé le même ordre, c'est-à-dire que les corps les plus diathermanes pour les rayons de la lampe d'Argant, le sont également pour les rayons calorifiques émanés des autres sources; mais le nombre des rayons transmis, comparé à celui des rayons incidents, a beaucoup diminué. Ainsi, le cristal de roche et le spath d'Islande, qui transmettaient la moitié de la chaleur venant de la lampe, ne livrèrent passage qu'à 1/4 des rayons envoyés par le platine incandescent. La quantité de rayons transmis par chaque substance est devenue encore plus faible, en employant pour source de chaleur le cuivre échauffé; et enfin, la transmission a été presque nulle pour tous les corps, quand on a pris pour source de chaleur le cube rempli d'eau bouillante. Il est donc prouvé par là, comme Delaroche l'avait reconnu pour le verre, que la faculté que possède la chaleur, de traverser les substances diathermanes sous forme de rayons, diminue rapidement avec la température de la source.

Parmi toutes les substances essayées, le sel gemme fait exception à cette loi, car il transmet la même proportion de chaleur rayonnante, quelle que soit la température de la source.

D'un autre côté, les variations du rapport des rayons transmis aux rayons incidents diminuent avec l'épaisseur, de sorte que, au delà d'une certaine limite, une lame mince de mica, par exemple, transmet la même proportion de rayons émis de deux sources de chaleur fort différentes. De la diminution des pertes que la chaleur rayonnante éprouve en traversant successivement des épaisseurs égales d'un même écran diathermane, on infère que les rayons de chaleur subissent des modifications particulières dans leur passage à travers un corps diathermane qui, en altérant leur qualité primitive, les rendent plus aptes à être transmis dans le même milieu. M. Melloni a donc dû penser qu'en prenant pour source de chaleur une lampe d'Argant, les

rayons, en traversant la cheminée de verre, acquerraient une qualité spéciale. Pour s'en assurer, il a opéré successivement avec une lampe de Locatelli, à un seul courant d'air, sans verre, munie d'un réflecteur, et une lampe d'Argant avec des plaques ayant 2 mm 6 d'épaisseur : sur 100 rayons de chaleur incidents, on a eu :

	Lampe d'Argant.	Lampe Locatelli.	Platine incandescent.	Cuivre noirci chauffé à 390°.	Idem chauffé à 100°.
Sel gemme....	92	92	92	92	92
Spath d'Islande.	62	39	28	6	0
Verre à glace..	62	39	24	6	0
Cristal de roche.	57	38	28	6	0
Tourmaline verte	27	18	16	3	0
Chaux sulfatée..	20	14	5	0	0
Alun.....	12	9	2	0	0
Chaux fluatée..	»	8	6	4	3

Tous ces résultats, obtenus avec un rayonnement constant de 30° du thermo-multiplicateur, montrent que l'ordre des transmissions n'a aucun rapport avec le degré de transparence; qu'il n'est pas rigoureusement le même lorsque l'on change la source de chaleur; mais que chaque substance exposée à l'action successive des quatre rayonnements, offre un ordre de dégradation pareil pour les quantités qu'elle transmet de chacun d'eux. Les mêmes effets se reproduisent avec les liquides.

De la comparaison de ces résultats, nous tirons la conséquence que la cheminée de verre entourant la lampe d'Argant a donné aux rayons qui la traversaient la propriété d'être transmis plus facilement à travers les milieux diaphanes, le sel gemme excepté, comme nous l'avons déjà fait remarquer.

Pour trouver la modification qu'éprouvent les rayons calorifiques en traversant un corps diaphane, on interpose une lame de ce corps entre la lampe sans verre et le diaphragme, et on l'approche, comme l'a fait M. Melloni, jusqu'à ce que le rayonnement qui s'opère à travers la lame, fasse dévier l'index d'une quantité fixe, de 30° par exemple. En présentant successivement à l'ouverture de l'écran les plaques de l'expérience précédente, voici quelques-uns des résultats obtenus :

Sur 100 rayons qui ont traversé une lame d'alun de 2 mm 6 d'épaisseur,

le sel gemme en transmet	92
le cristal de roche	91
la chaux fluatée, le verre et l'alun	90
la chaux sulfatée	59
la tourmaline verte	18
le verre noir opaque	1/2

Sur 100 rayons qui émergent d'une lame de chaux sulfatée, ayant aussi 2 mm 6 d'épaisseur,

le sel gemme en transmet	92
la chaux fluatée	91
le spath d'Islande	89
le cristal de roche et le verre	85
la chaux sulfatée	54
l'alun	47
le verre noir opaque	18
la tourmaline	1

Sur 100 rayons qui peuvent traverser une plaque de verre noir opaque, ayant 1 mm. 85 d'épaisseur,

le sel gemme en transmet	92
la chaux fluatée	91
le spath d'Islande et le verre	55
le cristal de roche	54
le verre noir opaque	52
la tourmaline	30
la chaux sulfatée	15
l'alun	1/3

Les rayons qui émergent du sel gemme se comportent comme ceux émanés de la source; ainsi ils n'éprouvent aucune modification en traversant cette substance; tandis que ceux sortant de l'alun sont transmis en grande abondance à travers les plaques diaphanes incolores, et éprouvent une perte de plus des 4/5 en traversant une lame de tourmaline fortement colorée. Les rayons émergeant de la chaux sulfatée se comportent de même, et éprouvent une perte des 4/5 dans le verre noir, tandis qu'ils sont presque totalement enlevés en traversant la tourmaline. Enfin, les rayons qui ont traversé un verre noir sont presque tous transmis par le sel gemme et la chaux fluatée, et interceptés entièrement par l'alun, puisque le sel gemme n'arrête aucun des rayons qui tombent sur sa surface.

Digitized by Google

Tous ces résultats conduisent à cette conséquence, qu'une source de lumière artificielle, comme une lampe, de même que le soleil, émet des rayons calorifiques de différentes espèces, qui se distinguent les uns des autres par la facilité avec laquelle ils peuvent traverser certaines substances diathermanes. Tous les faits observés tendent à établir la théorie dont voici les principales conséquences : Le sel gemme est la seule substance dans laquelle on reconnaît jusqu'ici la faculté de livrer un passage également facile à tous les rayons. Tous les autres corps sont diversement diathermanes pour des rayons de qualités différentes. *Dans chacun d'eux, certains rayonnements sont totalement arrêtés; les autres subissent des diminutions plus ou moins considérables, et ce partage varie d'une substance à une autre.* Les fractions ou les coefficients qui représentent les pertes que des accroissements égaux d'épaisseur d'un milieu diathermane font éprouver à chaque espèce de rayons qui le traverse, ont constamment la même valeur pour chaque espèce. Mais les coefficients variant pour un même milieu d'une espèce de rayons à une autre, il en résulte nécessairement que les pertes totales éprouvées par la chaleur hétérogène qui peut pénétrer dans les corps, doivent aller en diminuant. Toutefois, les rayons les moins transmissibles finissant par s'éteindre sensiblement, les coefficients des pertes totales successives doivent tendre vers l'égalité.

On voit donc que la chaleur rayonnante, ainsi que la lumière, ne doit pas être considérée comme simple, et que si celle-ci est composée de rayons colorés, doués de réfrangibilité différente, la chaleur peut être envisagée aussi comme formée d'un grand nombre de rayons calorifiques, doués de propriétés différentes. Cette propriété de la chaleur est favorable à la théorie des ondes; car s'il est difficile, dans le système de l'émission, de l'expliquer sans admettre une infinité de rayons calorifiques différents, rien n'est plus facile dans le système des ondes, que de concevoir ces qualités diverses, en admettant qu'elles correspondent à des nombres de vibrations différentes ou à des ondes calorifiques d'inégales longueurs.

On a vu précédemment qu'une lame très-mince d'un corps diathermane transmet sensiblement la même fraction de la chaleur rayonnante qui tombe sur sa surface, quelle que soit la source d'où elle émane; de là on doit conclure que la couche superficielle produit une perte particulière et constante, qui est beaucoup plus grande que la perte correspondante à une couche d'égale épaisseur prise dans l'intérieur.

L'ensemble des faits que nous venons de présenter montre que l'étude de la constitution moléculaire des corps doit prendre en considération les phénomènes relatifs à la transmission de la chaleur rayonnante dans ces corps, par suite de leur similitude avec les phénomènes lumineux de transmission qui, comme nous le verrons bientôt, servent à jeter un grand jour sur l'arrangement des molécules dans un grand nombre de corps, et en particulier dans les corps cristallisés.

Du spectre calorifique.

Pour connaître aussi complétement que possible le spectre solaire, il faut avoir une idée nette de la composition des spectres lumineux, phosphorogénique, calorifique et chimique. Les deux premiers ont été déjà décrits; il ne reste plus que les deux derniers à étudier; et, d'abord, commençons par le spectre calorifique, car il ne pourra être question du spectre chimique que lorsque nous aurons traité de l'action chimique de la lumière.

La faculté calorifique varie dans toute l'étendue du spectre en même temps que la réfrangibilité, mais suivant des rapports différents. Dans le spectre solaire donné par un prisme de verre, la plus forte chaleur se trouve à l'extrémité rouge et son minimum à l'extrémité violette, tandis que c'est en général le contraire pour la faculté chimique. On voit par là que les températures des teintes intermédiaires vont en décroissant jusqu'au violet, en se servant d'un prisme de verre; mais quand on fait usage d'un autre prisme, le maximum de la température du spectre solaire varie avec la composition de la substance. Et en effet, Seebeck a trouvé que si avec un prisme de crownglass, le plus haut degré de chaleur avait lieu dans le rouge, ce maximum passait dans l'orangé en employant un prisme creux de verre, rempli d'acide sulfurique, et dans le jaune en employant de l'eau distillée.

M. Melloni ayant à sa disposition des moyens d'expérimentation plus délicats que ceux de Seebeck et des physiciens qui se sont occupés du spectre calorifique, a cherché de nouveaux faits propres à expliquer les résultats précédemment mentionnés, et a été conduit aux considérations suivantes :

« Quand la chaleur solaire arrive sur la face antérieure d'un prisme plein d'eau, elle se compose de rayons de toute sorte de réfrangibilité. Le rayon qui possède le même indice de réfraction que la

lumière rouge éprouve, en traversant le prisme, une perte proportionnellement plus forte que le rayon doué de la réfrangibilité de la lumière orangée, et celui-ci perd moins que la chaleur du jaune. Ces rapports croissant dans les déperditions des rayons moins réfrangibles, tendent à faire marcher le maximum du rouge au violet, de sorte qu'il peut s'arrêter sur le jaune. On peut expliquer de la même manière le déplacement du maximum sur des spectres formés par des prismes de diverse nature. »

M. Melloni a appuyé ses vues théoriques des observations suivantes :

« En comparant les effets produits aux nombres qui représentent les transmissions calorifiques, on reconnaît que le maximum de chaleur, en partant du jaune où il se trouve placé pour le prisme d'eau, s'en éloigne toujours dans le même sens, à mesure que l'on construit le prisme avec des substances plus diathermanes, et qu'il sort même un peu du spectre en substituant le *flint* au *crown*, comme l'avait observé Herschel. »

D'où il résulte, d'après l'expérience, que la ligne de plus grande chaleur devra se trouver en dehors de la partie colorée du spectre, et se porter dans l'espace obscur, très-loin de la limite rouge, avec un prisme de sel gemme, substance qui est bien plus diathermane relativement au flint que le flint par rapport au crown. La distribution des températures dans le spectre solaire est donc un phénomène dépendant de l'ordre trouvé par M. Melloui, pour les transmissions calorifiques des substances diaphanes.

Pour étudier le spectre calorifique, on fait usage d'un thermomètre très-sensible, d'un thermoscope, de la pile thermo-électrique et du multiplicateur ou d'un papier sensible de M. Herschel, dont nous allons indiquer la préparation. Une feuille mince de papier est enduite sur l'une des faces de noir de fumée; puis quand on veut l'employer, on la mouille avec un mélange d'alcool et d'éther. Tant qu'il est mouillé, le papier parait noir sur la deuxième face; quand il est sec, il paraît blanc. Si donc on fait tomber un spectre solaire dessus, on verra aux teintes plus ou moins blanches que prennent les parties, celles qui ont reçu le plus de chaleur et par conséquent celle où se trouve le maximum de chaleur. Ce papier ne donne pas des indications très-exactes, car il faut une certaine élévation de température pour évaporer le liquide qui mouille le papier.

De l'action de la chaleur pour changer la structure des corps ou les décomposer.

Un grand nombre de faits prouvent de la manière la plus évidente, que souvent, dans les corps solides, les molécules constituantes n'ont pas de positions relatives invariables, et qu'elles peuvent changer de place sous l'influence de la chaleur, et prendre un nouvel arrangement, d'où résulte une forme cristalline appartenant à un autre système cristallin; nous en avons déjà cité quelques exemples en exposant la constitution moléculaire des corps, t. Ier, p. 286, lesquels suffisent pour établir cette vérité; ainsi, nous croyons inutile d'en rapporter de nouveaux.

Cependant, les personnes qui attribuent une origine électrique aux affinités, diront que la chaleur, en modifiant les propriétés électriques du corps, modifie également les affinités; mais cette explication est tellement vague, que nous ne nous y arrêterons pas.

Si la chaleur, dans un grand nombre de cas, favorise les combinaisons, elle produit souvent des effets inverses, quand il existe une grande différence d'expansibilité entre les éléments d'un composé (p. 231). Nous regrettons beaucoup de ne pouvoir entrer ici dans de plus grands développements concernant l'influence de la chaleur dans les actions chimiques; mais outre qu'il en a déjà été question dans cet ouvrage, le sujet est si vaste, que nous ne pourrions le faire qu'en dépassant les limites que nous nous sommes imposées. Au surplus, cette question est complétement du ressort de la chimie.

LIVRE VII.

ACTION DE LA LUMIÈRE SUR LES CORPS.

CHAPITRE PREMIER.

Action chimique de la lumière.

Préliminaires.

Quand on fait l'histoire d'une substance en chimie, on est dans l'habitude d'indiquer si elle éprouve ou non une action quelconque de la part de la lumière, sans chercher à se rendre compte des parties actives du spectre solaire, auxquelles elle est due; on s'en tient donc à l'effet produit, et nullement aux forces; cela se conçoit : l'étude de ces forces étant du domaine de la physique appliquée, exige des appareils, des détails d'expériences dont on ne s'occupe pas en chimie. Il importe cependant de connaître les parties actives du spectre solaire, dont les unes produisent des combinaisons, les autres des décompositions, si l'on veut interpréter les phénomènes chimiques, souvent si variés, auxquels la lumière solaire donne naissance. Les rayons solaires, et en général, les rayons lumineux, émanés d'une source quelconque, sont classés parmi les agents qui jouissent de la propriété de réagir chimiquement sur un certain nombre de corps des trois règnes de la nature. La décomposition de quelques sels, la formation de plusieurs combinaisons, la coloration des végétaux, les couleurs si belles et si variées des fleurs, témoignent en faveur de l'intervention de l'agent chimique qui accompagne la radiation solaire. Lorsque les plantes ne sont pas soumises à l'influence de la lumière, leurs tiges et leurs feuilles prennent une teinte jaunâtre annonçant un état de langueur, de dépérissement; elles s'étiolent enfin. Les animaux privés de la lumière languissent et périssent également, par suite de l'affai-

blissement de tous leurs organes. La lumière possède donc une force qui vivifie la nature, et que nous allons chercher dans la radiation qui accompagne celle à laquelle nous devons le sentiment de la lumière proprement dite, de la lumière qui éclaire. En exposant les phénomènes relatifs à la décomposition de la lumière, nous avons montré l'existence de rayons jouissant, les uns de la propriété d'éclairer, les autres d'échauffer, d'autres enfin produisant la phosphorescence. Mais la lumière possède encore des rayons agissant sur la constitution moléculaire des corps, ainsi que sur leur composition; peut-être existe-t-il encore d'autres rayonnements dont les propriétés ont échappé jusqu'ici à nos investigations. De même que l'on trouve, dans un faisceau de lumière solaire réfracté dans un prisme, un spectre lumineux, un spectre calorifique, un spectre phosphorogénique; de même aussi on y trouve des spectres chimiques que nous ferons connaître après l'exposé des phénomènes généraux relatifs à l'action chimique de la lumière; car, avant tout, il faut avoir des moyens propres à mettre en évidence l'existence de ces spectres.

La plupart de ces phénomènes sont tellement frappants, qu'ils ont dû être remarqués depuis longtemps, même par les esprits les moins observateurs, et cependant ce n'est qu'en 1556 que la science enregistra pour la première fois dans ses annales un fait beaucoup moins concluant que celui relatif à la différence qui existe dans la végétation d'une plante à la lumière ou dans l'obscurité. Ce fait est le changement de couleur de la poussière grise d'un minerai d'argent (chlorure d'argent), laquelle noircit à la lumière. Plusieurs autres faits analogues ne tardèrent pas à se grouper au précédent. Cependant, l'on ne commença l'étude sérieuse de l'action chimique de la lumière qu'à l'époque où Scheèle chercha les moyens de faire servir les substances impressionnables à la fixation des images de la chambre obscure, qui venait d'être découverte par Porta. Vinrent ensuite Wollaston et Ritter qui se livrèrent à des recherches méthodiques et suivies sur les propriétés chimiques de la lumière, et mirent en évidence ce fait remarquable, que tous les rayons du spectre n'agissent pas uniformément sur les substances impressionnables. Divers physiciens ne tardèrent pas à s'occuper de la même question; les uns confirmèrent les faits observés, d'autres en ajoutèrent de nouveaux dont nous parlerons plus loin.

Substances et papiers sensibles.

Nous suivrons, pour l'étude des substances impressionnables et pour tout ce qui concerne l'action chimique de la lumière, l'ordre que

M. Edmond Becquerel a adopté dans son exposé général de l'action chimique de la lumière; en conséquence, nous diviserons ces substances en trois séries, suivant le mode d'action que leur fait subir la lumière solaire. Voici l'énoncé de chacun de ces modes :

1° Modification physique des corps sans changement de nature;

2° Combinaison chimique de deux ou plusieurs corps;

3° Décomposition des corps, partielle ou totale, avec séparation des éléments ou formation de nouveaux composés.

Il est très-important de bien connaître les réactions que les rayons solaires font éprouver aux corps qui changent d'état sous leur influence, car ces corps sont les instruments eux-mêmes, si l'on peut s'exprimer ainsi, à l'aide desquels on analyse les effets produits.

Nous appellerons rayons chimiques les rayons qui produisent les réactions entre les éléments des corps; dans chaque cas particulier, on dira que telle ou telle substance est impressionnée par les rayons chimiques, et il est bien entendu que cela ne veut pas dire que ce sont les mêmes rayons qui agissent dans les différents cas.

Le tableau qui suit renferme les substances impressionnables, divisées en séries, d'après les trois modes d'action indiqués.

Tableau des principales substances impressionnables à la lumière.

1re Série. Corps qui éprouvent des modifications physiques sans changement de nature.

Phosphore.
Sulfate de nickel.
Séléniate de zinc.
Corps volatiles. { eau.
camphre, etc.
etc.

2e Série. Corps dont la combinaison est effectuée sous l'influence solaire.

Chlore et hydrogène.
Chlore et substances hydrogénées de nature organique.
Brome et hydrogène.
Brome et substances hydrogénées.
Iode et substances hydrogénées.
Alcool et chlorures métalliques.
Résine de gaïac et oxygène, etc.

3e Série. Corps ou combinaisons détruites en partie ou en totalité par l'influence de la lumière.

Sels d'argent.	Chlorure. Bromure. Iodure. Nitrate, etc.
Sels d'or....	Chlorure. Oxyde, etc.
Sels de platine.	Chlorure, etc.
Sels de mercure.	Proto-chlorure. Protoxyde.
Sels de plomb.	
Quelques sels de fer. — Cyanure.	
Acide chromique.	
Oxydes de chlore.	Protoxyde de chlore. Acide chloreux.
Hydrogène perphosphoré.	
Acide nitrique.	
Couleurs végétales. — Destruction de la coloration.	
Et cætera.	

1re Série. *Corps modifiés dans leur constitution sans changement de nature.*

Il y a plusieurs moyens de reconnaître quand un corps éprouve une modification dans l'arrangement de ses molécules; les plus directs sont en général le changement de couleur, vient ensuite le changement de système cristallin pour les corps cristallisés. Ces deux caractères vont nous servir de guides.

Le corps sur lequel le changement de couleur a été observé pour la première fois est le phosphore, et les modifications que ce corps éprouve sont très-remarquables. Ordinairement blanc, il prend une teinte de plus en plus foncée en passant du rouge au brun, suivant la nature des fluides dans lesquels il se trouve, bien que ceux-ci ne lui cèdent aucun de leurs éléments. Dans l'eau, il devient rouge quand on l'expose à la lumière; dans différents gaz il perd sa force d'agrégation; puis il se dépose sur les parois des vases une poussière très-fine, dont la couleur varie suivant la nature de ces gaz. La coloration est tellement indépendante des réactions chimiques exercées sur le phosphore par les corps avec lesquels il est en contact,

qu'elle se produit aussi dans le vide barométrique, comme Vogel l'a observé; ce qui démontre que cette coloration est due à un nouvel arrangement moléculaire qui ne peut être attribué qu'à l'action des rayons solaires.

Sulfate de nickel. — Ce composé cristallise dans le système prismatique. Si les cristaux restent quelque temps exposés à la lumière dans un milieu privé d'eau, puis après qu'on les brise, les fragments sont composés d'octaèdres à base carrée, n'appartenant plus au système cristallin primitif.

Séléniate de zinc. — Il éprouve des modifications semblables dans la même circonstance.

Ces deux derniers exemples suffisent pour montrer comment la lumière peut changer le mode de cristallisation. Citons des exemples d'un autre genre.

Eau; substances volatiles. — L'eau, le camphre, etc., dans des flacons bouchés à l'émeri et exposés inégalement à la lumière, se déposent en cristaux ou en gouttelettes sur la portion de la paroi la plus éclairée. Ce phénomène est resté jusqu'ici sans explication; nous nous bornons à le signaler.

On voit donc par ce qui précède que les rayons solaires peuvent agir sur les corps pour leur faire éprouver des changements moléculaires, sans perte ni augmentation d'éléments. Il est probable que d'ici à peu de temps ces faits seront beaucoup mieux connus, parce que l'on étudie maintenant méthodiquement l'action chimique de la lumière solaire.

2e Série. *Corps dont la combinaison s'effectue sous l'influence solaire.*

Les combinaisons de deux ou plusieurs corps se reconnaissent à divers caractères, soit au changement de couleur des corps en présence, soit à l'état cristallin du composé, soit aux nouvelles propriétés physiques et chimiques qu'acquiert ce dernier, soit enfin aux effets électriques produits, et reconnus à l'aide du multiplicateur dans des circonstances où tout autre moyen serait impuissant pour constater des réactions chimiques.

Dans la plupart des cas, il peut y avoir complication d'effets, par suite des rayons calorifiques qui accompagnent également la lumière. Beaucoup de réactions s'opèrent effectivement sous l'une et l'autre influence. Pour simplifier la question et se mettre hors de l'influence des

rayons calorifiques, on opère à la lumière diffuse qui est privée sensiblement de ces rayons. Il est d'autant plus important d'en agir ainsi, qu'il y a des cas où l'action calorifique de la lumière exerce une action inverse de celle que produisent les rayons chimiques que renferme la lumière.

Chlore et hydrogène (H Cl). Cette combinaison est la plus remarquable, en raison de la promptitude de l'action; il suffit, en effet, d'exposer à la lumière directe le mélange de ces deux gaz pour qu'il détone et produise de l'acide chlorhydrique. A la lumière diffuse cette combinaison s'effectue lentement. Viennent ensuite les corps hydrogénés et le chlore, qui, en raison de la grande affinité de l'hydrogène pour celui-ci, sont décomposés. Dans ce cas, le chlore se substitue en proportions atomiques égales à l'hydrogène, et il en résulte généralement un nouveau composé, possédant des propriétés analogues à celles du composé primitif.

Le chlore et le gaz des marais ($C^4 H^8$). A l'obscurité, aucun effet; à la lumière diffuse, action lente; à la lumière solaire, action vive, détonation. Il y a formation de chloroforme, $C^4 H^2 Cl^6$. Il se forme successivement les produits $C^4 H^8 Cl^2$, $C^4 H^6 Cl^4$, $C^4 H^2 Cl^6$, et enfin avec des excès de chlore, il se produit du chlorure de carbone $C^4 Cl^8$.

Chlore et gaz oléfiant ($C^8 H^8$). Aucune action à l'ombre; à la lumière diffuse, action assez rapide; à la lumière solaire, action rapide sans détonation. Quand on prend des volumes égaux des deux gaz, il se forme un composé, la liqueur des Hollandais, dont la formule est $C^8 H^8 Cl^4$, ou mieux, d'après ses réactions, $C^8 H^6 Cl^2 + Cl^2 H^2$, etc.

Ensuite, par l'action prolongée du chlore, on a les différents produits, obtenus par M. Regnault, $C^8 H^4 CL^4 + Cl^2 H^2$; $C^8 H^2 Cl^6 + Cl^2 H^2$, et enfin $C^8 Cl^{12}$, le sesqui-chlorure de carbone.

Brome et gaz des marais. Action presque nulle au soleil. Le brome, l'iode et le fluor se comportent, sous l'influence de la lumière solaire, à l'égard de l'hydrogène, comme le chlore, avec cette différence, toutefois, que les effets ne sont pas aussi forts. L'iode est celui qui agit le moins énergiquement; quant au fluor, n'ayant pu encore l'isoler, on n'a pu étudier son action.

Brome et gaz oléfiant ($C^8 H^8$). Action du même ordre qu'avec le chlore.

Iode et gaz des marais ($C^4 H^8$). Aucun effet.

Iode et gaz oléfiant ($C^8 H^8$). Action faible; il se forme un produit analogue à la liqueur des Hollandais et qui est facilement décomposé, soit par la chaleur, soit spontanément.

Le chlore et la benzine ($C^{24} H^{12}$). A l'obscurité, aucun effet ; à la lumière diffuse, action lente; à la lumière solaire, action plus vive. Il y a formation du composé $C^{24} H^{12} Cl^{12}$, c'est-à-dire $C^{24} H^{6} Cl^{6} + Cl^{6} H^{6}$.

Le chlore et la naphtaline ($C^{10} H^{4}$). A l'obscurité, il y a probablement action ; à la lumière diffuse comme au soleil, action vive, dégagement abondant de gaz hydrogène, et formation d'une série de produits qui dérivent de la naphtaline par substitution.

Différents hydrogènes carbonés liquides et volatils ; tous ces corps éprouvent de la part du chlore une action analogue à celle de la naphtaline.

Le chlore et l'acide acétique ($C^{8} H^{6} O^{3} + H^{2} O$). A l'obscurité, aucun effet ; à la lumière solaire, action très-vive et formation d'un produit représenté par $C^{8} Cl^{6} O^{3} + H^{2} O$, et qu'on a appelé acide chloracétique.

Le chlore et l'eau. A l'obscurité, aucun effet ; à la lumière diffuse, action lente ; à la lumière solaire, action plus rapide ; dans les deux cas, l'eau est en partie décomposée : il se forme de l'acide chlorhydrique, de l'acide chlorique, et il se dégage de l'oxygène.

Le chlore et l'éther sulfurique ($C^{8} H^{10} O$ ou $C^{8} H^{8} + H^{2} O$). A l'obscurité l'action n'a pas été examinée ; à la lumière diffuse, action assez vive, élévation de température et formation d'un produit qui n'est pas altéré par le chlore, quelle que soit la durée de l'action, et dont la composition est $C^{8} H^{6} O Cl^{4}$.

Quatre atomes d'hydrogène ont donc été remplacés par quatre atomes de chlore. A la lumière solaire ordinaire, action énergique et formation d'un produit final dont la composition est $C^{8} Cl^{10} O$: tout l'hydrogène est remplacé par du chlore. Mais le chlore et l'éther, à une forte insolation, donnent lieu au composé $C^{8} CL^{12}$ dans lequel non-seulement tout l'hydrogène, mais même tout l'oxygène, sont remplacés par du chlore.

Alcool et chlore. Réaction lente à la lumière diffuse, mais qui devient très-vive au soleil. Il se forme des produits qui, jusqu'ici, n'ont pas été examinés.

Si l'on fait passer des bulles de chlore dans de l'alcool saturé de chlore, renfermé dans un flacon exposé au soleil, à chaque bulle de chlore qui sort du tube il y a détonation, formation d'acide chlorhydrique et dépôt de charbon.

Chlore et acide cyanhydrique. Réaction sous l'influence solaire ; production d'acide chlorhydrique et de perchlorure de cyanogène.

Alcool et chlorures métalliques. Les chlorures qui peuvent être dé-

composés sont ceux qui peuvent passer à un état de chloruration moindre en perdant une portion de leur chlore : le perchlorure de fer est dans ce cas ; dissous dans l'alcool et exposé aux rayons solaires, il laisse déposer de l'oxyde de fer; l'alcool se décolore, et il se forme de l'éther. Le perchlorure de fer agit également sur l'éther sous l'influence de la lumière.

Résine de gaïac. Sa coloration est très-curieuse à examiner; si l'on imbibe une feuille de papier d'une solution alcoolique de cette résine, il paraît jaunâtre à l'obscurité, change de couleur à la lumière, devient vert, vert bleuâtre, puis bleu. Wollaston a trouvé que les rayons les plus réfraugibles étaient les plus propres à lui donner la teinte bleuâtre, tandis que les moins réfrangibles étaient les plus aptes à lui rendre la teinte jaunâtre primitive, teinte que la chaleur lui restitue également.

M. Biot a simplifié l'étude de ce phénomène (*Comptes rendus*, 22 avril 1839). Suivant lui, les effets proviennent d'une illusion d'optique. La matière impressionnable se compose de deux substances bien différentes : l'une, rouge jaunâtre, soluble dans l'eau et dans l'alcool, n'est pas altérée par la lumière; l'autre, soluble seulement dans l'alcool, est presque incolore, et passe rapidement au bleu sous l'influence des rayons chimiques. On sépare ces deux substances par la chaleur de la manière suivante : on fait bouillir le bois ou la résine d'abord dans l'eau, pour enlever la matière jaune, ensuite dans l'alcool, pour avoir la matière impressionnable. Nous reviendrons sur cette matière en parlant des papiers impressionnables; en attendant, il est facile de prouver que l'effet mentionné plus haut est dû à l'oxydation de la résine de gaïac; car tous les corps oxydants, tels que le chlore, le brome, etc., lui donnent cette couleur sous l'influence de la lumière; ce second agent produit donc la combinaison d'une substance contenue dans la résine avec l'oxygène de l'air, combinaison qui est l'acide gaïacique de MM. Pelletier et Deville.

3e SÉRIE.— *Corps ou combinaisons détruites en partie ou en totalité sous l'influence des rayons solaires.*

Sels d'argent. L'action de la lumière est très-vive sur ces sels, et les changements qu'ils subissent sont faciles à reconnaître, surtout dans les sels neutres qui noircissent promptement.

Chlorure d'argent ($Ag\,Cl^2$). Il est blanc éclatant; mais l'action con-

tinue de la lumière solaire ou diffuse lui enlève une portion de son chlore; de sorte que, au bout de quelque temps, il ne reste plus qu'un composé que l'on suppose avoir pour formule Ag Cl, qui est d'un noir fauve. Quoi qu'on ait fait pour expliquer cette réaction, on ignore si c'est un protochlorure ou bien un mélange d'argent métallique et de chlorure Ag Cl^2. Cependant on serait assez disposé à adopter la formule Ag Cl, depuis que l'on est parvenu à obtenir ce sel en traitant l'argent métallique avec du bichlorure de cuivre, qui lui cède une portion de son chlore pour se changer lui-même en protochlorure.

Wohler émit une opinion semblable, et obtint le même résultat en exposant le mellitate d'argent à 100° à l'action du gaz hydrogène pur; pendant cette réaction, ce sel change de couleur, devient noir, soluble dans l'eau qu'il colore en jaune rougeâtre foncé. Il y a, par suite, formation d'eau, dépôt d'argent, et la dissolution devient acide; le sel perd une partie de son poids, correspondant à la moitié de l'oxygène de l'oxyde d'argent : ce résultat indique la formation d'un protoxyde d'argent Ag^2 O. La potasse précipite une poudre noire considérée par Wohler comme un protoxyde d'argent, mais qui, cependant, pourrait être un mélange de deutoxyde et d'argent métallique. L'acide chlorhydrique précipite une matière brune correspondant au protoxyde, et que l'on a considérée comme un protochlorure, quoiqu'on puisse aussi le regarder comme un mélange de chlorure et d'argent. D'un autre côté, comme dans la réaction de l'ammoniaque sur le composé formé à la lumière, on obtient de l'argent métallique dans un grand état de division, et du chlorure d'argent qui se dissout, quelques chimistes ont cru devoir en inférer que la lumière ne changeait pas le chlorure d'argent en protochlorure; mais il est probable que la formation de ce protochlorure a lieu. Le chlorure d'argent blanc est soluble dans les chlorures alcalins ainsi que dans l'hyposulfite de soude qui en dissout une plus grande quantité; propriété dont on tire partie en photographie. Le protochlorure éprouve de la part de ces composés la même action qu'avec l'ammoniaque; il y a précipitation d'argent métallique et dissolution de chlorure blanc.

Bromure d'argent (Ag Br^2). Ce sel, préparé par voie de double décomposition, se comporte à la lumière comme le chlorure; seulement, l'effet est plus rapide. La coloration est noir-verdâtre.

Iodure d'argent. Ce sel, obtenu par double décomposition, est jaunâtre, peu impressionnable à la lumière; mais mêlé au nitrate d'argent, il le devient à un très-haut degré. On a, dans ce cas, un exemple de deux substances qui, peu impressionnables par elles-mêmes, le de-

viennent fortement alors qu'elles ne réagissent pas chimiquement l'une sur l'autre. M. Talbot s'est servi du mélange de ces deux sels avec beaucoup d'avantages.

Si l'iodure préparé par double décomposition est peu influencé par la lumière, il n'en est plus de même de l'iodure formé sur une plaque d'argent avec de la vapeur d'iode; cet iodure d'argent est soluble dans un iodure alcalin. La plaque exposée à la lumière se colore rapidement, en donnant naissance à un composé analogue au proto-chlorure et au proto-bromure; c'est la substance sensible que M. Daguerre a découverte, et qui lui a servi à faire ses admirables dessins.

L'analogie entre ces trois composés, chlorure, bromure et iodure d'argent, se retrouve dans presque toutes les actions de la lumière sur eux, et dans celles des réactifs chimiques.

Ainsi presque tous les corps qui dissolvent l'iodure, le bromure, ou le chlorure d'argent, opèrent la décomposition des proto-iodures, etc., en donnant naissance à de l'argent métallique très-divisé et à un deuto-iodure, deuto-bromure, etc., qui se dissout. Mais le dissolvant qui facilite le plus cette décomposition est une solution d'hyposulfite de soude.

Iodure de potassium ou de sodium et argent métallique. En mettant en digestion de l'argent métallique nouvellement précipité avec une solution assez concentrée d'iodure alcalin, il y a double décomposition; il se forme de l'iodure d'argent, et la potasse est mise en liberté. Avec une dissolution faible, l'action est très-lente, mais elle est accélérée par la lumière.

On a vu que l'action de la lumière sur les chlorure, bromure et iodure d'argent leur fait éprouver une demi-réduction. Quant aux oxacides, ils sont décomposés entièrement, et l'on obtient de l'argent métallique; la réduction est accélérée par la présence de matières organiques. Le charbon exerce un pouvoir réductif sur le nitrate d'argent sous l'influence de la lumière et, en général, l'oxyde d'argent est également décomposé.

Sels d'or. La lumière leur fait éprouver le même mode d'action qu'aux sels d'argent, c'est-à-dire qu'ils sont réduits. Nous citerons pour exemple le chlorure et l'oxyde d'or; mais comme les réactions ne sont pas très-promptes, ces sels ne sont pas employés en photographie.

Sels de platine. Quelques-uns se décomposent à la lumière, et il y a encore une réduction. Cette décomposition étant lente, on ne les

emploie pas pour la préparation des papiers sensibles. Nous mentionnerons encore la réaction de l'eau de chaux sur le chlorure de platine ; le platine est réduit, et il y a formation de chlorure de calcium.

Sels de mercure. En général, ils ne sont pas réduits pendant leur exposition à la lumière. Cependant le protoxyde et le proto-chlorure changent de couleur. Cet effet n'a pas encore été examiné.

Sels de plomb. Quelques-uns, exposés aux rayons solaires, changent de couleur : ainsi le beau jaune de l'iodure de plomb éprouve une altération sensible, de même que le peroxyde puce de plomb, ainsi que Davy l'a observé ; cette altération n'est pas la même dans toutes les parties du spectre.

Sels de fer. En réagissant sur les sels métalliques, la lumière opère leur réduction, et doit agir avec d'autant plus d'énergie que les sels sont plus électro-négatifs. Le bleu de Prusse dans le vide perd du cyanogène et blanchit, comme l'a observé M. Chevreul ; à l'air, il reprend de l'oxygène et devient bleu. Dans le premier cas, il s'est donc opéré une véritable réduction.

Acide chromique. Cet acide agit comme un oxydant très-faible sur un grand nombre de substances, sous l'influence de la lumière, comme sous celle de la chaleur ; lorsque les rayons solaires agissent, c'est par une action *sui generis* et non par la chaleur qui les accompagne. Dans ce cas, l'acide chromique cède une portion de son oxygène à la matière organique et passe à l'état d'oxyde de chrome.

Acide chromique et alcool. Cet acide, dissous dans l'alcool, puis soumis à la lumière solaire, décompose ce dernier ; il se précipite peu de temps après une matière brunâtre, qui est de l'hydrate de chrome, lequel devient vert à une température élevée. L'alcool, en se décomposant, produit de l'éther et d'autres composés qui n'ont pas encore été examinés.

En agissant sur l'amidon, la gomme, le sucre et d'autres matières organiques, le même acide se change en hydrate de chrome, avec formation d'autres composés. Pour en avoir un exemple, on n'a qu'à humecter de l'amidon avec une solution de bichromate de potasse, à laisser sécher le mélange et à l'exposer sec à l'action de la lumière ; on voit alors la surface se colorer en brun foncé, par suite de la décomposition de l'acide chromique en excès dans le bichromate de potasse, son oxygène lui étant enlevé par la matière organique.

Protoxyde de chlore Cl. O et acide chloreux Cl. O³. Ces corps

éprouvent, l'un et l'autre, une action décomposante de la part de la lumière solaire. Suivant M. Suckou d'Iéna, la décomposition du dernier a lieu de préférence par la lumière du matin, tandis que l'inverse a lieu pour le premier.

Acide nitrique ($Az^2 O^5$). Cet acide se décompose en oxygène et acide nitreux.

Hydrogène phosphoré. Spontanément inflammable à l'air, ce gaz laisse déposer du phosphore sous l'influence solaire et se change en gaz hydrogène phosphoré qui n'est plus inflammable.

On a remarqué que la plupart des couleurs végétales, et surtout les teintes si riches que présentent les fleurs, sont détruites par la lumière. Nous mentionnons seulement l'effet général, nous y reviendrons en parlant de l'action du spectre et de l'action de la lumière sur les végétaux.

Papiers sensibles.

Nous avons indiqué, dans le chapitre précédent, les différentes substances qui changent d'état chimique sous l'influence de la lumière. Nous reconnaissons, pour la plupart du temps, ces réactions aux changements de couleur ou aux effets électriques produits, comme nous le verrons plus loin.

Voyons quel est le mode de préparation à faire subir aux substances pour les employer à découvrir et à analyser les radiations solaires.

Généralement on étend, dans une obscurité profonde, ces substances en couches très-minces sur du papier parfaitement blanc, soit directement, soit en formant ces substances sur le papier lui-même par double décomposition. Ces papiers ainsi préparés sont appelés *papiers sensibles* ou *sensitifs* à l'influence des rayons solaires.

Nous distinguerons deux sortes de papiers, *papiers négatifs* et *papiers positifs*. Les papiers négatifs sont ceux qui reçoivent de la lumière une impression telle que les parties les plus éclairées sont les plus obscures sur le papier, et *vice versâ*. Les papiers positifs sont ceux dans lesquels les parties les plus éclairées par la lumière sont les plus claires. Mais avec un papier négatif on peut obtenir un papier positif, en copiant celui-là comme une gravure à l'aide d'un papier négatif semblable.

Les papiers dont on fait le plus grand usage, sont les papiers préparés avec des sels d'argent. Le plus simple est celui préparé en éten-

dant du nitrate sur une feuille de papier. Le papier noircit, quand il est exposé aux regards solaires; l'argent est réduit. Ce papier est peu sensible. Les plus sensibles sont ceux préparés avec le chlorure et le bromure; ils donnent des ombres pour des clairs, et *vice versâ*, c'est-à-dire que ce sont des papiers négatifs. On prépare ces papiers par les doubles décompositions. Pour le chlorure ou le bromure, on met successivement une couche d'un chlorure alcalin et une autre de nitrate d'argent, ou d'un bromure alcalin et de nitrate d'argent. Ce dernier papier est très-sensible pour les expériences photographiques. Il est plus sensible quand il y a un léger excès de nitrate d'argent, et en mettant dessus plusieurs couches successives d'éther chlorhydrique et de nitrate. M. Herschel ayant montré que la présence de matières organiques augmentait la promptitude de la décomposition, avant de le préparer, on étend sur le papier une émulsion de matière organique.

L'acétate alcalin est très-sensible, mais moins que le bromure. Si, avant le bromure de potassium et le nitrate d'argent, on met une couche d'acétate de plomb, il se forme un mélange de bromure et d'acétate d'argent plus sensible que le bromure seul.

Tous ces papiers, placés dans la chambre obscure, donnent des dessins inverses et sont négatifs. Une fois à la lumière, ils s'impressionnent partout.

On peut préparer un papier qui donne des images positives. Le procédé consiste à impressionner à la lumière solaire ou diffuse un papier préparé au nitrate d'argent; une fois noirci, on l'étend d'une faible couche d'iodure de potassium. A l'obscurité, il ne se produit aucun effet. Au foyer de la chambre obscure, les parties éclairées se décolorent, et l'on obtient ainsi une image directe. Si la couche d'iodure alcalin est forte, l'action se fait sentir dans l'obscurité comme à l'ombre. Cette action est la même que celle provenant de l'iodure de potassium sur l'argent métallique; il y a formation d'iodure d'argent et de potasse.

Une fois les impressions produites, il faut rendre les papiers inactifs. A cet effet on emploie plusieurs procédés; 1° les substances qui dissolvent le chlorure et le bromure d'argent, lesquelles enlèvent le sel impressionnable partout où il n'a pas été altéré, tandis qu'aux endroits où la coloration a eu lieu, le sous-chlorure ou le sous-bromure se décomposent en argent métallique qui reste, et en chlorure ou bromure qui se dissout; 2° l'ammoniaque, l'hyposulfite de soude, le sel marin, l'iodure de potassium, ce dernier peu concentré, car il se

décomposerait par suite de la présence de l'argent métallique; le meilleur est l'hyposulfite de soude. M. Herschel conseille l'emploi du prussiate de potasse. Mais comme les dessins, quand ils sont fixés, peuvent s'effacer à la longue, il indique de fixer l'image avec le deutochlorure de mercure, puis avec de l'eau; non-seulement le papier devient insensible, mais encore tout le dessin devient blanc; si, au bout d'un certain temps, on lave le papier dans l'hyposulfite, quoiqu'il reste encore insensible, le dessin revient sur le papier aussi fortement que précédemment. Voici ce qui se produit : le deutochlorure de mercure dissout le bromure ou le chlorure d'argent, en rencontrant le protochlorure d'argent il lui cède une portion de son chlore, ce protochlorure devient deutochlorure et se dissout, et il se fixe à cet instant du protochlorure de mercure blanc insoluble; l'hyposulfite, en réagissant sur le papier, décompose le protochlorure en bichlorure et mercure métallique, et le dessin devient noir. On peut reproduire ces altérations plusieurs fois. Pour montrer la justesse de cette explication, on reproduit le phénomène en imprégnant une feuille de papier de bichlorure de mercure, et traçant quelques caractères avec une légère solution de protochlorure d'étain très-avide de chlore, ce sel s'empare d'une portion du chlore du bichlorure qui devient *proto-sel;* il en résulte une faible couche de *protochlorure* à la surface du papier.

M. Daguerre a substitué au papier sensible une plaque métallique, dont l'altération de la surface peut produire une couche impressionnable. A cet effet, il a déposé une couche légère d'iode sur une plaque d'argent ou de plaqué d'argent, d'où résulte immédiatement de l'iodure d'argent qui est très-impressionnable à la lumière. L'iodure décomposé, si la lame est exposée à la vapeur de mercure, les parties frappées condensent les vapeurs de mercure, tandis que les autres ne se combinent pas avec ce métal. En passant la plaque à l'hyposulfite de soude qui dissout l'iodure d'argent, il ne reste plus qu'un sous-iodure noir à la place des parties qui n'ont pas été frappées par la lumière. Notre but n'est pas de décrire le procédé de M. Daguerre qui est connu de tout le monde, nous avons voulu seulement le mentionner pour faire connaître la manière de préparer l'iodure d'argent sensible à la lumière. Si la plaque reste longtemps exposée à la lumière, on n'a pas besoin de la passer à la vapeur de mercure pour avoir une image, car elle se produit d'elle seule par la décomposition de l'iodure, mais elle est négative.

On a aussi préparé l'iodure d'argent sur du papier en y déposant

une couche d'argent métallique d'une manière quelconque et l'exposant ensuite à la vapeur d'iode; mais c'est toujours l'iodure qui est impressionné, aussi nous n'insisterons pas sur ces préparations.

Nous citerons comme papier sensible très-impressionnable celui que M. Talbot a nommé *calotype*. Voici comment on le prépare et sur quelle réaction est fondé son emploi :

Si l'on étend sur une feuille de papier une couche d'iodure neutre d'argent obtenu par la double décomposition du nitrate d'argent et d'un iodure alcalin, ce papier sera très-peu sensible; mais si on vient à le plonger ensuite dans une faible solution de nitrate d'argent, il devient plus impressionnable; préparé ainsi dans une chambre parfaitement obscure, si on en expose une partie à la lumière pendant un temps très-court, insuffisant pour le noircir, et qu'on vienne à le plonger dans une solution aqueuse d'acide gallique, puis qu'on le chauffe, la partie qui aura été exposée à l'action des rayons solaires deviendra subitement très-noire, tandis que l'autre conservera sa couleur. Ainsi l'acide gallique, qui est un désoxydant faible, n'agit sous l'influence de la chaleur que sur l'iodure d'argent qui a reçu un commencement d'impression. Ce papier est aussi négatif. Du reste, comme nous le dirons en parlant de l'action du spectre solaire sur diverses substances, on peut employer des papiers préparés avec les différents sels d'argent.

Un papier qui est d'une préparation facile, est celui dont l'effet repose sur l'action de l'acide chromique sur les matières végétales. Il peut donner lieu en même temps à un papier négatif et à un papier positif. Au lieu d'acide chromique on prend du bichromate de potasse qui contient de l'acide chromique en excès, on trempe une feuille de papier préparé à l'amidon dans ce bichromate et on laisse sécher. Si on l'expose à la lumière, l'action de l'acide chromique sur les matières organiques et sur l'amidon est telle, qu'il y a formation d'oxyde de chrome, qui donne une teinte jaune bois au papier. Mais si on vient à tremper ces papiers dans une faible solution alcoolique d'iode, l'iode colore en bleu l'amidon dans les parties qui n'ont pas été exposées à la lumière, et on a alors un papier positif.

On peut avec des sels d'or préparer des papiers sensibles. Ainsi, en étendant une légère couche d'une solution aqueuse de chlorure d'or sur du papier, il se colore promptement en violet lors de son exposition au soleil. Scheèle a fait à ce sujet une remarque importante, c'est que si on en expose une partie à la lumière, de sorte qu'il y ait un commencement de coloration, et qu'on le rentre à l'obscurité, la

partie qui a commencé à se colorer continue à noircir toute seule et passe par toutes les phases de coloration qu'elle aurait prise en restant exposée à l'action des rayons solaires.

M. Herschel a indiqué aussi la préparation d'un grand nombre de papiers sensitifs, surtout en employant les sucs de différentes plantes; mais comme il faut examiner l'action du spectre sur chacune de ces substances, nous y reviendrons plus loin. Notre but est seulement de décrire les papiers sensibles qui servent aux recherches expérimentales, et non à leurs applications.

Du spectre chimique.

Jusqu'ici il n'a été question dans les changements chimiques qu'éprouvent les substances de la part de la lumière, que de l'influence de la lumière, sans distinction des différentes espèces de rayonnement qui y sont contenues. Si l'on veut y avoir égard, il faut étudier successivement sur ces diverses substances l'action des rayons de différente réfrangibilité, c'est-à-dire, l'action du spectre solaire obtenu par la réfraction d'un faisceau de rayons solaires à travers des prismes de nature différente. Nous allons donner un exposé succinct des résultats auxquels on est parvenu en faisant cette étude.

Le corps sur lequel on a étudié pour la première fois l'action du spectre est encore celui à l'aide duquel on a découvert l'influence de la lumière comme agent chimique : c'est le chlorure d'argent. Scheèle est le premier qui reconnut que cette combinaison noircissait plus fortement dans les rayons violets que dans les autres. Plus tard Ritter et Vollaston, tous deux séparément, avaient trouvé que la noircissure s'étendait non-seulement à travers l'espace occupé par le violet, mais encore à un degré égal et à pareille distance environ au delà du spectre visible. D'après ces expériences, répétées du reste par Beeckman, Vollaston avança le premier que ces effets ainsi que d'autres, attribués ordinairement à la lumière, ne sont réellement dus à aucun des rayons perceptibles par l'organe de la vision, mais à d'autres rayons invisibles qui les accompagnent et qui sont plus réfrangibles qu'eux. Dès lors on leur a donné le nom de rayons chimiques que nous adopterons, sans vouloir exprimer pour l'instant aucune idée théorique sur la nature de ces rayons.

Lorsque du chlorure d'argent, du bromure, ou de l'iodure préparé dans une chambre parfaitement obscure, sont placés dans le spectre, ils s'impressionnent dans la partie violette du spectre, quelle que soit en

général la nature du prisme, et l'action ne s'étend pas au delà du bleu du côté du rouge. On ne connaissait jadis que cette seule réaction. Il est vrai que M. Herschel avait cru remarquer une action au delà du rouge, qui tendait à montrer l'existence de rayons agissant en sens inverse des précédents; mais il a reconnu postérieurement que cet effet résultait du desséchement du papier par les rayons calorifiques qui se trouvent en plus grand nombre dans cette partie du spectre. Tel était l'état de nos connaissances touchant l'influence des différentes parties du rayonnement solaire sur des sels d'argent, lorsque M. Edmond Becquerel reprit l'étude de l'action du spectre solaire sur ces mêmes sels. Dans un premier travail, il est parvenu aux résultats suivants, qui montrent que, pour les sels d'argent, l'agent chimique qui accompagne la lumière est au moins composé de deux ordres de rayons différents. Voici les faits qui tendent à établir cette distinction:

Il a opéré principalement sur du papier de bromure d'argent, préparé, comme on sait, en étendant sur une feuille de papier successivement une couche d'une solution aqueuse de bromure de potassium, puis de nitrate d'argent, et faisant sécher après l'application de chaque couche. Ce papier a l'avantage d'être plus sensible que celui que l'on prépare avec le chlorure d'argent.

Si, après avoir préparé un de ces papiers dans une obscurité complète, on projette immédiatement sur sa surface le spectre solaire provenant du passage d'un faisceau lumineux à travers un prisme de verre ordinaire, et qu'on examine ce papier au bout de quelques minutes, on le voit coloré dans les rayons bleus, indigos, violets et au delà; mais si, avant de l'exposer dans le spectre, on le laisse impressionner légèrement à la lumière diffuse, il n'en est plus de même, et la coloration a lieu non-seulement dans les rayons les plus réfrangibles, mais encore dans la partie la moins réfrangible du spectre jusqu'au rouge. Cette coloration du papier dans les rayons orangés, jaunes et verts, provient, comme on le verra ci-après, de l'action de rayons qui n'agissent pas de la même manière que les rayons chimiques déjà étudiés.

Au lieu d'un papier sensible non impressionné, il a expérimenté avec un papier enduit de bromure d'argent, ayant sa surface couverte de bandes parallèles très-étroites, successivement non impressionnées et impressionnées. On obtient facilement ces bandes en exposant, pendant quelques secondes, à la lumière diffuse, sous un carton découpé, une feuille de papier sensitif nouvellement préparée; mais on

s'arrange pour que la coloration des dernières bandes soit à peine sensible. Si l'on projette alors le spectre solaire sur ce papier perpendiculairement à ces bandes, on remarque les résultats suivants quelque temps après : toute la partie exposée dans les rayons bleus, indigos, violets et au delà du violet, est noircie comme précédemment, tandis que dans les rayons orangés, jaunes, verts, se trouvent des bandes noires qui, dans le vert, ont une couleur à peu près semblable à celle du papier dans le violet. Ces bandes sont celles qui ont été déjà impressionnées, tandis que celles qui ne l'ont pas été sont restées complétement blanches. On voit encore de ces bandes dans le commencement du bleu; mais elles finissent bientôt, car, dans ces rayons, les bandes non impressionnées primitivement ont acquis déjà sensiblement la même couleur que les premières.

On peut, au lieu d'expérimenter avec un papier sur lequel on a formé des bandes alternativement impressionnées ou non impressionnées, employer un papier de bromure d'argent que l'on a exposé préalablement à la lumière diffuse, sous un carton percé d'un grand nombre de petites ouvertures, mais seulement pendant quelques secondes : en plaçant ce papier dans le spectre, on voit dans les rayons verts, jaunes, orangés, des points noirs qui sont justement les points déjà impressionnés et qui ont continué à noircir dans la partie supérieure du spectre.

Ces résultats, confirmés par un grand nombre d'expériences et par l'action des écrans dont nous allons nous occuper, montrent bien que la lumière est accompagnée, en outre des rayons chimiques ordinaires qui influencent les sels d'argent, et dont l'action s'étend depuis la limite du vert et du bleu jusqu'au delà du violet, d'autres rayons produisant la même transformation, qui ne commencent pas une action, mais continuent celle commencée.

Pour distinguer ces deux ordres de rayons, M. Ed. Becquerel a nommé les premiers *rayons excitateurs*, c'est-à-dire, rayons qui, par leur réfraction, sont compris depuis les rayons bleus jusqu'au delà, et les autres *rayons continuateurs*, c'est-à-dire, rayons continuant une action commencée.

On peut, sans admettre l'existence de ces deux rayonnements, rapporter l'effet produit à un changement chimique survenu dans la substance, et dire que la substance déjà impressionnée devient sensible à l'influence de rayons par lesquels elle n'était pas impressionnée auparavant.

Du reste, on peut appliquer ce que nous venons de dire des chlo-

rure et bromure d'argent aux autres sels de ce métal, qui se comportent, en général, à peu près de la même manière par rapport au rayonnement, si ce n'est qu'ils sont plus ou moins sensibles, et que l'action des rayons dans le spectre ne se limite pas tout à fait aux mêmes portions de ce spectre pour des sels différents.

Lorsqu'on étudie l'action du spectre solaire sur une plaque recouverte d'iodure d'argent, de prime abord on est tenté de croire qu'il y a des rayons qui agissent de différentes manières sur cette plaque, car on voit l'espace frappé par le spectre coloré de différentes nuances. M. Draper avait avancé qu'il y avait autant de rayons actifs que de nuances produites, mais M. Herschel a très-bien fait voir que ces nuances ne provenaient que des teintes des lames minces analogues aux anneaux colorés de Newton, et produites par les couches minces d'iodure d'argent et de mercure placées sur la surface réfléchissante de l'argent métallique. Ainsi il n'y a qu'une seule action produite sur l'iodure d'argent de la part de la lumière (du moins nous n'en connaissons pas d'autre quant à présent), c'est la transformation de l'iodure en proto-iodure. Ce sel se comporte comme le chlorure et le bromure, quand on l'applique sur du papier ou sur les plaques de M. Daguerre. Seulement, quand elles sont rendues plus sensibles par la vapeur de brome ou de chlore, l'action des rayons excitateurs remonte dans le spectre, presque jusqu'au vert. En général, tous les sels d'argent qui noircissent sous l'influence de la lumière peuvent faire reconnaître les deux espèces de rayons que nous venons d'indiquer. Le papier de M. Talbot peut servir au même usage.

M. Edmond Becquerel a dû rechercher d'abord si l'image du spectre chimique sur les différentes substances impressionnables était continue, ou bien si elle était interrompue, comme celle du spectre lumineux, par des raies noires plus ou moins marquées. Ses expériences l'ont conduit à ce résultat remarquable, que le spectre chimique présente les mêmes raies que le spectre lumineux, en ne considérant toutefois que les parties de même réfrangibilité de ces deux rayonnements. Voici comment il a opéré pour mettre ce fait important en évidence :

On prend un châssis, pouvant recevoir un cadre sur lequel on tend successivement un papier sensible, ou sur lequel on peut appliquer des surfaces impressionnables. On reçoit sur la surface de ce papier ou de ces substances le spectre obtenu par projection, comme il a été dit (page 98), de manière que les raies du spectre lumi-

neux se dessinent très-nettement. En se servant d'une plaque d'argent iodurée à la manière de M. Daguerre, l'exposant pendant une ou deux minutes à l'action du spectre par projection, et passant ensuite à la vapeur mercurielle, la plaque est plus ou moins impressionnée, et l'image du spectre est couverte de raies. Si l'on dessine ce spectre en le rapportant à la même échelle que le spectre solaire, on reconnaît qu'entre H et A, les raies dans les deux spectres sont identiquement les mêmes et aux mêmes distances. Seulement, on ne voit dans le spectre chimique que les grosses raies et les moyennes, les plus fines ayant disparu en raison de la faible intensité de l'action chimique. On peut conclure de cette similitude des deux spectres des raies, que la cause qui préside à la production des raies, dans le spectre solaire, est aussi celle qui intervient dans la production du spectre chimique. La figure 2 (Pl. VIII) représente aussi exactement que possible le spectre chimique, qui se prolonge au delà du spectre lumineux. Au delà de H, le spectre chimique a une infinité de raies; jusques en M à peu près elles sont encore les mêmes que dans le spectre lumineux; mais, au delà, les rayons lumineux s'affaiblissent toujours, et on ne peut plus les comparer; il est cependant probable que si ces derniers s'étendaient au delà, on retrouverait les mêmes raies que celles du spectre chimique que nous allons décrire.

D'abord, après les deux raies H, on voit un très-grand nombre de raies, et, parmi celles-ci, une raie I, très-large, formée de la réunion d'un grand nombre de plus petites. Après elle, en M, viennent quatre raies remarquables par leur netteté; elles sont égales en grosseur, et à peu près à égale distance; la dernière seule est un peu plus éloignée. Ces quatre raies sont situées jusqu'à la limite Y des derniers rayons lumineux gris violet. Au delà de ces raies, en N, se trouvent quatre autres raies plus fortes que les précédentes, presque égales entre elles, la quatrième étant un peu plus large que les autres. Il existe, en O, deux grosses raies, à la même distance entre elles que les deux raies H, la première étant un peu plus forte que la seconde; viennent ensuite d'autres fortes raies, parmi lesquelles on distingue la raie P, très-forte et très-noire; puis après elle, d'autres à peine distinctes; P est presque la limite à laquelle s'étende l'action chimique. Il n'est question ici que des raies les plus remarquables, et qui peuvent être dessinées assez nettement pour être distinguées de celles qui les environnent. En résumé, le spectre chimique obtenu avec les plaques iodurées, rendu sensible avec le chlore et le brome, s'étend depuis Z jusqu'à X, fig. 2 (Pl. VIII). Il

comprend les rayons continuateurs, allant de F en X. En employant des plaques simplement iodurées, l'action des rayons excitateurs, au lieu de s'étendre depuis Z jusqu'en F, a ses limites entre O et P d'un côté, et de l'autre, entre G et H. On conçoit très-bien qu'à l'aide de ce procédé, en agrandissant le spectre, comme nous l'avons dit en parlant du spectre phosphorogénique, on puisse, en mesurant très-exactement les raies, avoir une précision aussi grande que celle avec laquelle Frauenhoffer a mesuré les raies du spectre lumineux, et les distances respectives des raies du spectre chimique. M. Edm. Becquerel a employé aussi les papiers sensibles : voici ceux qui ont servi à ses expériences : les papiers de bromure, de chlorure ou d'un sel quelconque d'argent. Ces papiers se placent sur une ardoise, si l'on veut expérimenter pendant qu'ils sont humides, ou, dans le cas contraire, ils sont tendus sur le châssis ; il est bien entendu que ce dernier doit être placé au foyer de la lentille, afin que le spectre solaire par projection puisse s'y peindre nettement. On peut alors suivre de l'œil la formation des raies du spectre chimique. Le temps de la formation dépend des substances impressionnables. Les effets produits sont en raison inverse des effets naturels, c'est-à-dire, que les parties correspondant aux rayons chimiques se peignent en noir sur le papier, et les raies en blanc. Celles-ci sont moins faciles à distinguer que sur les plaques iodurées; cependant on y parvient avec un peu d'attention. Avec ces différents sels, le maximum d'action ne se trouve pas à la même place dans le spectre, et est toujours situé entre G et H; c'est pour ce motif que les raies H paraissent toujours les premières. La figure 3 (Pl. VIII) représente l'action du spectre sur un papier enduit de bromure d'argent, abstraction faite des raies.

Le spectre chimique varie de longueur suivant les substances impressionnables employées; en général, il s'étend toujours plus ou moins du côté du rouge. On en a un exemple en observant l'action de l'iodure de potassium sur un papier préparé avec un sel d'argent.

On a étudié aussi l'action produite par la lumière dans cette circonstance, action donnant lieu à des effets complexes qui avaient besoin d'être analysés. Un papier préparé avec un sel d'argent noircit en général quand on l'expose à la lumière; vient-on ensuite à le laver dans une solution d'iodure alcalin pour l'exposer de nouveau à l'action de la lumière, il blanchit; dans ce cas il y a de la potasse mise à nu et formation d'iodure d'argent. En opérant avec du papier préparé avec une forte solution d'acétate de plomb, de bromure de potassium et de nitrate d'argent, ce papier noircit à la lumière; mais alors, si

on l'imbibe d'une faible dissolution d'iodure de potassium et qu'on le soumette à l'action du spectre, il blanchit immédiatement vers l'extrémité la plus réfrangible, et cette action se continuera même au delà et, dans quelques cas, noircira davantage dans les parties les moins réfrangibles. Pour réussir, il est nécessaire que la solution d'iodure alcalin soit très-étendue, car les effets sont très-différents lorsqu'elle est plus ou moins concentrée.

Lorsque la solution est forte, le papier commence à blanchir dans les rayons les moins réfrangibles; on trouve entre la partie blanche et la partie obscure un espace neutre; avec une autre dose d'iodure, la ligne neutre se rapproche du rouge; enfin, quand la solution d'iodure est suffisante, le papier devient distinctement blanc presque vers le rouge; avec une très-forte solution iodurée, le papier blanchit même à l'obscurité.

Dans cette réaction il y a des effets très-complexes; car, non-seulement l'iodure de potassium exerce une action sur le sel d'argent réduit, mais encore la lumière agit sur le sel d'argent déjà impressionné, ainsi qu'on l'a établi pour les sels d'argent. Si donc la couche d'iodure est faible, cette seconde réaction peut l'emporter sur la première et faire noircir le papier dans la partie la moins réfrangible du spectre.

Pour se garantir de cet effet, il faut, une fois le papier impressionné, avoir soin de le laver avec de l'eau ordinaire, puis le plonger dans une solution d'iodure de potassium assez forte pour ne pas avoir ces deux réactions. L'effet dépend aussi de la manière dont primitivement le papier a été impressionné. S'il a été fortement noirci, l'action ne s'étend pas au delà du bleu; mais s'il l'a été moins, elle s'étend jusqu'au rouge.

La fig. 4 (Pl. VIII) représente l'image du spectre obtenu par projection sur une feuille de papier préparée avec les précautions indiquées plus haut; et, en impressionnant légèrement le papier avant l'expérience, on peut avoir une idée de la distance à laquelle l'action chimique s'étend. Avec ce papier, toutes les raies que nous avons décrites plus haut se dessinent avec assez de netteté.

A l'aide de la méthode de M. Talbot, qui consiste à faire agir, au moyen de la chaleur, l'acide gallique sur un papier enduit d'iodure d'argent et qui a reçu l'impression de l'image que l'on veut produire, on obtient d'assez bons résultats; mais comme la sensibilité de ce papier est très-grande, il faut autant que possible que l'action soit de courte durée, afin que les raies soient distinctes. En opérant ainsi, les ombres sont représentées par des clairs, et *vice versâ*.

Voilà ce que nous avions à dire touchant l'action du spectre sur les sels d'argent. Voyons maintenant comment il se comporte à l'égard d'autres substances impressionnables. Nous supposons qu'on opère toujours avec un prisme de flint très-pur.

Une feuille de papier qu'on a trempée dans du bichromate de potasse change rapidement de couleur à la lumière en séchant, et de jaune pâle devient couleur bois foncé. Cette coloration est due au changement de l'acide chromique en oxyde de chrôme, par l'action des matières organiques sous l'influence de la lumière. Elle a son maximum d'action dans le spectre à la limite du vert et du bleu vers la raie F; on voit dans la fig. 6 (Pl. VIII) le spectre chimique produit; l'action paraît s'arrêter instantanément à l'extrémité du vert, au delà des raies F et B. Du côté le plus réfrangible du spectre, elle va en s'affaiblissant graduellement, et en M la coloration est presque insensible. En prolongeant l'action de la lumière, on aperçoit toujours l'image des mêmes raies marquée faiblement en blanc. En trempant la feuille de papier dans une solution alcoolique d'iode étendu, les clairs deviennent bleus, en raison de la réaction de l'iode sur l'amidon du papier; les raies deviennent alors plus visibles.

Le papier préparé avec la résine de gaïac, qui bleuit à la lumière, donne les mêmes raies que les autres papiers sensibles, seulement, les effets sont plus faibles. Cette coloration est due à une oxydation, puisque les corps oxydants, le chlore et le brome produisent cet effet. Afin de rendre ce papier plus sensible, on le trempe préalablement dans une solution faible de nitrate d'argent. Dans ce cas, les résultats ne sont pas dus à l'action des rayons solaires sur le gaïac pur. Cette résine, d'après les expériences de M. Biot et comme nous l'avons dit précédemment, renferme deux matières, l'une soluble dans l'eau et ne se colorant pas à la lumière, l'autre soluble dans l'alcool, et qui prend une teinte bleue quand elle est soumise à son action.

Ayant préparé du papier avec une solution alcoolique de gaïac bouilli à plusieurs reprises dans l'eau, on l'a exposé à l'action du spectre pendant deux ou trois heures; la coloration en bleu s'est manifestée au delà des rayons violets. Le maximum s'est trouvé entre M et N; les raies étaient faiblement marquées; voy. fig. 6 bis. Il restait à faire une autre expérience pour compléter ce qui a été dit précédemment.

Il existe dans la lumière, comme Vollaston l'a observé le premier, des rayons ramenant le gaïac bruni à sa couleur primitive, qui est le jaunâtre. Ces rayons sont situés vers la partie la moins réfrangible du spectre solaire. Il s'agissait de voir ce qui se passait en sou-

mettant ce papier préparé avec de la résine colorée en bleu par une solution aqueuse de chlore. On a préparé du papier avec de la résine de gaïac. Au bout de quelques heures d'action, on a trouvé sur ce papier un espace blanc s'étendant du rouge au violet, fig. 7. L'action produite est due évidemment aux rayons agissant en sens inverse des précédents, leur maximum étant en F. Ces résultats prouvent bien que les raies du spectre chimique sont les mêmes que celles du spectre lumineux, pour les espaces correspondants, bien entendu. Dans la fig. 2 (Pl. VIII), on trouve les raies dessinées avec leur distance respective.

Dans quelques cas, l'action chimique s'étend jusqu'à l'extrême rouge; mais les raies dans les environs de A sont tellement confuses, qu'il est très-difficile de les dessiner. Il n'en est pas de même au delà du violet, car les raies, quoique très-nombreuses, sont bien nettes. Le mode d'expérimentation que nous venons d'indiquer, permet donc de dessiner les raies du spectre solaire au delà de la partie visible, et cela jusqu'à une distance égale à la moitié de la longueur du spectre lumineux. Les résultats ont été obtenus avec un prisme de flint-glass très-pur; mais ils auraient été encore les mêmes si l'on eût employé un prisme d'une autre substance. Nous verrons qu'il en devait être ainsi, comme l'a montré M. Edm. Becquerel, qui, avec l'actinomètre électro-chimique, a prouvé que l'action chimique des rayons solaires était peu différente en substituant aux prismes de flint-glass un prisme d'eau, de sel gemme ou d'alun.

On a également étudié l'action du spectre sur d'autres substances, ainsi que sur des mélanges de chlore et d'hydrogène. Les expériences les plus précises à cet égard ont été faites par M. Bérard, qui s'est servi d'un spectre rendu fixe en réfléchissant un faisceau lumineux dans la chambre obscure à l'aide d'un héliostat. Il avait préparé dans l'obscurité plusieurs flacons remplis de mélange des deux gaz, et plongeant par leur partie inférieure dans de l'eau saturée de chlore. Chaque couleur du spectre éclairait un flacon. Après trois heures, la combinaison était complète dans le premier et le deuxième flacon situés dans les parties les plus réfrangibles, à moitié dans le troisième, et nulle dans les deux autres. En même temps il reconnut que la combinaison s'effectuait plus rapidement à la limite que hors du violet. Nous ferons observer que Davy était, avant M. Bérard, parvenu aux mêmes résultats, qui furent plus tard confirmés par M. Suckou d'Iéna.

Une feuille de papier enduite de chlorure d'or s'impressionne au bout d'un temps assez long depuis E jusqu'au delà de H vers I,

c'est-à-dire, depuis le vert jusqu'au delà du violet; cette impression est lente, attendu que le sel est très-peu sensible; mais on peut, en mettant à profit la propriété découverte par Seebeck et que possèdent les sels d'or, avoir une impression dans un temps plus court. Le papier enduit de chlorure d'or ayant été exposé à un spectre intense ne reçoit qu'une impression très-faible et quelquefois nulle; si on l'enferme dans une boîte pendant quelques jours, on voit toute l'étendue du spectre comprise depuis E jusqu'en I sur le papier : voy. fig. 5, pl. VIII.

On a vu que lorsque la résine de gaïac était colorée, elle perdait sa couleur dans les rayons les moins réfrangibles. Il en est de même des différentes couleurs végétales.

En étudiant l'action du spectre solaire sur du papier enduit de différentes teintures de sucs de fleurs, telles que la matière colorante de la pensée, M. Herschel a reconnu que les diverses couleurs végétales qui sont influencées par les rayons solaires, étaient détruites dans des portions différentes du spectre. Les rayons actifs ne sont compris qu'entre le rouge et le violet. Il a trouvé que l'action était positive, c'est-à-dire que la lumière détruisait la couleur, soit en totalité, soit en laissant une teinte affaiblie sur laquelle les rayons solaires n'exercent plus d'action, et opérant, pour ainsi dire, une analyse chromatique, dans laquelle deux couleurs sont séparées, l'une étant enlevée, détruite, l'autre laissée par résidu. Plus le papier est anciennement préparé, moins il est sensible. Il a remarqué, comme Grotthus l'avait déjà avancé, que les rayons qui sont efficaces pour la destruction d'une matière végétale d'une couleur quelconque, sont, dans un grand nombre de cas, ceux qui accompagnent les rayons lumineux qui, par leur couleur, sont complémentaires de la couleur de la matière végétale détruite. C'est ainsi que les matières végétales d'une couleur jaune ou orangée sont détruites avec plus d'énergie par la partie bleue du spectre; les couleurs bleues par les rayons qui accompagnent les rayons rouges, orangés et jaunes du spectre. En outre de ce que nous venons de dire sur le spectre, nous pourrions citer encore un grand nombre d'exemples, et on verrait que pour chaque substance chimiquement impressionnable à la lumière, l'action des rayons solaires est différente, c'est-à-dire, que ces substances ne sont pas impressionnées entre les mêmes limites du rayonnement et que les positions des maxima et minima d'action ne sont pas les mêmes dans chaque circonstance. Ainsi chaque substance est un appareil particulier à l'aide duquel on doit interroger l'action chimique de la

lumière, car nous n'avons jusqu'à présent aucune substance qui soit influencée chimiquement par tous les rayons actifs de la lumière, et qui puisse nous servir par rapport aux rayons chimiques, comme le noir de fumée par rapport aux rayons calorifiques en absorbant les rayons de toute réfrangibilité.

De l'actinomètre électro-chimique.

Pour étudier complétement l'action chimique que la lumière exerce sur certaines substances, il faut prendre en considération les effets électriques produits pendant que cette action a lieu; car ces effets se manifestent quelquefois dans des circonstances où tout autre moyen ne pourrait accuser des changements chimiques. L'appareil imaginé par M. Ed. Becquerel pour observer ces effets dans la décomposition des sels d'argent, est l'actinomètre électro-chimique, dont nous allons donner une description complète et faire connaître l'usage. Cet appareil se compose des parties suivantes : voy. pl. XII, fig. 11:

1° D'une table longitudinale de deux à trois mètres de longueur, sur laquelle est fixée une règle divisée, le long de laquelle peut se mouvoir, avec un léger frottement, une planchette de bois, carrée, supportant une cuve cubique de 1 décimètre de côté. Cette cuve, dont les faces extérieures sont noircies, est remplie d'eau rendue conductrice au moyen d'une petite quantité de sulfate de soude, ou de quelques gouttes d'acide sulfurique ou nitrique; dans cette eau, plongent deux lames minces d'argent, de 25 centimètres carrés chacune, et terminées elles-mêmes par une tige en argent qui vient s'attacher à un montant en cuivre. Les deux montants, fixés sur la planchette, font communiquer les lames avec les deux extrémités d'un multiplicateur à fil long d'une très-grande sensibilité. En avant de la cuve et sur la planchette, se trouvent deux écrans; l'un en cuivre, de même largeur et de même hauteur que la cuve, est percé verticalement d'une ouverture de 1 centimètre, et qui correspond au milieu d'une de ses faces, de sorte qu'en éclairant l'écran, il n'y a que la portion de la lame d'argent placée vis-à-vis de l'ouverture qui soit éclairée, et reçoive, par conséquent, les effets du rayonnement. Cette ouverture peut être augmentée ou diminuée en largeur, à l'aide d'un système de deux lames métalliques qui se rapprochent ou s'éloignent, comme dans les appareils de diffraction. L'autre écran, complétement opaque, est peint en blanc et placé vis-à-vis du précédent, lorsqu'on veut intercepter toute action du rayonnement et connaître

la portion du spectre solaire qui frappe le centre de l'ouverture du premier écran. L'eau de la cuve doit être peu conductrice de l'électricité, car l'expérience prouve que plus elle conduit bien, moins le courant produit d'intensité. Il résulte de là, qu'en opérant avec de l'eau acidulée il pourrait se faire qu'on n'eût aucun effet. L'actinomètre doit être placé dans une chambre parfaitement obscure, où la lumière ne puisse pénétrer que par l'ouverture du volet, et le multiplicateur, autant que possible, dans une autre pièce.

Les lames d'argent ayant été bien décapées, on expose une de leurs faces à la vapeur d'iode, jusqu'à ce que la couche d'iodure d'argent soit jaunâtre. On fait cette préparation dans une chambre qui n'est éclairée que par une bougie, placée le plus loin possible de l'expérimentateur. Les lames une fois iodurées, sont plongées dans la cuve, de manière que l'une d'elles présente sa face iodurée à l'écran échancré, et que la surface iodurée de l'autre soit tournée vers l'un des côtés noircis de la cuve, afin qu'elle ne reçoive aucun rayonnement chimique. Ces lames sont mises ensuite en communication avec le multiplicateur. Dans les premiers instants, il se produit une déviation due à un courant électrique assez énergique provenant de la non homogénéité des deux lames; mais au bout d'une heure ou deux, l'aiguille revient à zéro ou se fixe à quelques degrés à droite ou à gauche. Si l'on veut atténuer l'effet résultant de la polarisation des lames, il faut les faire communiquer entre elles, pendant quelque temps, avant de les mettre en relation avec le multiplicateur. Quand on opère, il faut que le ciel soit sans nuage, sans quoi les résultats ne seraient pas comparables. Toutes ces dispositions faites, on introduit dans la chambre obscure un faisceau de rayons solaires, et on forme un spectre horizontal fixe au moyen d'un prisme dont l'arête est verticale et qui se trouve dans la position du minimum de déviation. La table de l'actinomètre est disposée de manière que chaque partie du spectre puisse correspondre exactement au milieu de la lame d'argent qui doit être exposée au rayonnement. Ce spectre doit avoir 1 décimètre $\frac{1}{2}$ à 3 décimètres de long.

L'écran peint étant placé vis-à-vis de l'ouverture, on fait glisser la cuve le long de la règle divisée, de sorte que chacune des raies principales du spectre lumineux corresponde successivement à la ligne tracée sur le milieu de l'écran. On note la division correspondante de la règle, et alors tout est disposé pour commencer les expériences. On fait glisser l'appareil le long de la règle jusqu'au moment où l'ouverture est dans le rouge vers la raie A; alors on enlève l'écran, afin que les

rayons de l'extrême rouge viennent frapper la lame; l'aiguille n'est pas déviée. On remet l'écran plein, on fait glisser la cuve le long de la règle, et on l'arrête quand la raie B de l'orangé se trouve vis-à-vis de la lame; on ôte de nouveau l'écran; l'aiguille du galvanomètre ne sera pas encore déviée. En continuant cette manœuvre, on ne commence à avoir une action que lorsque les rayons de l'extrême bleu frappent la lame. S'il s'en manifeste quelquefois une dans le vert et dans le jaune, on doit l'attribuer à une petite quantité de lumière diffuse qui réagit sur la lame. Quand les rayons bleus frappent la lame, l'action est d'abord assez marquée, et va en augmentant à mesure que l'on approche du violet. Le maximum se trouve en G et H. La déviation de l'aiguille pour cette position va jusqu'à 20° et 30°, et même au-delà, si la lame est très-impressionnable, et que la sensibilité du multiplicateur soit très-grande; au-delà de H, l'action décroît, de sorte que vers P, au delà du violet, il n'y a plus qu'une action très-faible.

Il faut avoir l'attention, dans chaque expérience, de ne laisser la lame découverte que pendant quelques secondes, que le temps nécessaire pour que l'aiguille effectue sa déviation par première impulsion. On en agit ainsi pour que la lame ne soit pas trop impressionnée, et qu'elle puisse donner des résultats comparables dans des expériences subséquentes.

En faisant glisser la cuve en sens inverse de son mouvement primitif, on repasse dans toutes les parties du spectre solaire, en commençant par la partie la plus réfrangible; alors on retrouve les mêmes déviations que précédemment, dans les rayons situés depuis P jusqu'à F, à l'extrémité bleue; mais en avançant dans le vert, vers E, on obtient une action plus marquée que primitivement dans cette partie, et on trouvera même dans le jaune, l'orangé et le rouge, une action qui n'était pas sensible auparavant. Au delà de A, on n'observe plus aucun effet; cette action est due aux rayons continuateurs.

En exposant de nouveau la lame dans la partie violette, et la transportant dans les rayons les moins réfrangibles, on retrouve pour les mêmes positions de l'actinomètre, des déviations plus considérables que la seconde fois, tandis que dans les rayons les plus réfrangibles les déviations sont les mêmes. Une nouvelle exposition de la lame dans les parties du spectre donne les mêmes résultats, c'est-à-dire, qu'à mesure que la lame est plus impressionnée, l'action des rayons chimiques les moins réfrangibles ou continuateurs est plus intense, tandis que celle des rayons les plus réfrangibles reste la même.

Cette augmentation d'action des rayons vers A va jusqu'à une certaine limite, de sorte que l'action maximum des rayons les moins réfrangibles ne dépasse guère l'action maximum des rayons excitateurs les plus réfrangibles.

En étudiant l'action du spectre sur l'iodure d'argent, le chlorure ou le bromure, on reconnaît donc qu'il y a pour ainsi dire deux spectres agissant sur un des sels, l'un situé dans la partie la plus réfrangible du spectre solaire, dont le maximum se trouve entre G et H, et se termine d'un côté en F et de l'autre en P, et qui agit toujours avec la même intensité; l'autre spectre, situé depuis F jusqu'en A, a son maximum entre O et E, et n'agit que sur le sel déjà impressionné, et d'autant plus fortement que la substance est plus impressionnée, jusqu'à ce que l'action maximum atteigne à peu près celle du maximum de l'autre spectre.

Nous allons rapporter les résultats précis obtenus par M. Ed. Becquerel, dans une série d'expériences faites avec beaucoup de soin, en donnant d'abord les résultats de Frauenhoffer, relatifs à la comparaison des facultés éclairantes du spectre lumineux, pour fixer la position des parties du spectre qui produisent des effets chimiques.

Faculté éclairante des rayons lumineux.

COULEURS du SPECTRE.	RAIES DU SPECTRE.	FACULTÉ ÉCLAIRANTE des parties du spectre correspondant aux raies.
Extrême rouge	A	Insensible.
	B	0,0320
Orangé	C	0,0940
	D	0,6400
Jaune	Maximum entre D et E, situé à peu près à 0,3 de la distance DE à partir de D	1
Vert	E	0,4800
Commencement du bleu	F	0,1700
Indigo	G	0,0310
Extrême violet	H	0,0056

Ce tableau nous montre que la partie la plus lumineuse se trouve dans le jaune, et que la faculté éclairante décroît très-rapidement en s'approchant vers les deux extrémités du spectre, car vers H elle n'est plus que les $\frac{5}{1000}$ de ce qu'elle est au maximum. Ces résultats ne doivent être considérés que comme des valeurs approchées.

On trouvera dans le tableau ci-après les nombres exprimant les intensités du courant électrique produit par l'action chimique des différentes parties du spectre correspondantes aux raies du spectre sur l'iodure d'argent. M. Ed. Becquerel a supposé qu'on soit arrivé à une limite telle, que l'action du spectre des rayons continuateurs soit à son maximum, et que le maximum des rayons excitateurs soit égal à celui des rayons continuateurs.

RAYONS.	RAIES DU SPECTRE.	INTENSITÉ du courant électrique produit.
Rayons continuateurs....	.....A.....	0,05
	.....B.....	0,20
	.....C.....	0,32
	.....D.....	0,68
	Maximum entre D et E à 0,6 de la distance DE à partir de D.....	.....1 maximum.
	....E.....	0,75
	.....F.....	0,25
	Minimum d'action du spectre situé près de F entre F et G.....	.....0,20 minimum.
	.....G.....	0,65
	Maximum entre G et H à peu près à 0,4 de la distance GH, à partir de G.	.....1 maximum.
Rayons excitateurs.....	.....H.....	0,72
	.....I.....	0,40
	.....M.....	0,27
	.....N.....	0,17
	.....O.....	0,13
	.....P.....	0,05

Les résultats consignés dans ce tableau nous montrent que lorsque le spectre solaire agit sur l'iodure d'argent non encore impressionné, on n'a d'action qu'entre P et F, et encore est-elle nulle en F. Si le lame est impressionnée, on a une autre série de rayons actifs entre F et A ; et lorsque le maximum de ceux-ci n'est pas le même que le maximum des premiers, les rapports des nombres entre F et A donnent les rapports des effets produits. La figure 3 (pl. XII) donne la courbe des intensités du courant électrique produit dans les diverses parties du spectre solaire. Cette courbe Pαδβ A, qui représente deux maxima et un minimum, est construite d'après le tableau précédent. La courbe HμγA représente au contraire les intensités des facultés éclairantes du spectre lumineux d'après Frauenhoffer. Dans ces courbes, les abscisses sont prises à volonté; ce sont les ordonnées qui représentent les nombres inscritsdans les tableaux précédents.

L'emploi de l'actinomètre est très-utile dans l'étude des radiations chimiques, attendu que les effets électriques produits et accusés par ces appareils sont appréciables lorsque les effets chimiques ne sont pas sensibles. C'est pour ce motif que le physicien ne saurait trop se familiariser avec l'usage de cet appareil, et d'autant plus encore que les effets produits servent à prouver que le contact de deux corps, non suivi d'action chimique, ne saurait troubler l'équilibre des forces électriques; car le courant cesse dès l'instant que la lumière n'agit plus, bien qu'il y ait contact du métal et du composé précédemment formé; en outre, cet appareil sert aux mêmes usages pour les rayons qui impressionnent les sels d'argent que la pile thermo-électrique pour les rayons calorifiques.

Des écrans transparents incolores.

Les premières recherches relatives aux modifications qu'éprouvent les rayons lumineux en traversant des écrans diaphanes et incolores, sont dues à M. Biot, qui les fit immédiatement après que nous eûmes signalé l'existence des rayons phosphorogéniques. M. Malaguti s'occupa ensuite de l'action exercée sur la lumière par les écrans liquides incolores; mais le but qu'il s'est proposé en voulant trouver leur pouvoir retardateur, ne pouvait être atteint comme l'a démontré M. Ed. Becquerel, qui a prouvé, dans un travail où il a traité la question sous le point de vue le plus général, que l'effet était loin d'être simple, comme le pensait ce chimiste), attendu qu'il se compliquait de l'action de la substance liquide sur les rayons chimiques, et

de la plus ou moins grande quantité de rayons réfléchis sur la surface de séparation du verre de l'écran et du liquide. Les résultats auxquels M. Ed. Becquerel est parvenu éclairent tellement la question de l'action chimique de la lumière, que nous croyons devoir les faire connaître avec quelques développements. Nous préviendrons d'abord que ses expériences ont porté non-seulement sur les diverses parties visibles du spectre, mais encore sur celles qui ne le sont pas, et qui se trouvent au delà du violet. On sait en effet qu'au delà de la raie H, où se termine à peu près la teinte violette, on aperçoit encore quelques faibles rayons lumineux qui n'ont pas une teinte bien déterminée, ainsi que les raies qui les accompagnent. Ces rayons, concentrés au foyer d'une lentille, donnent une teinte gris lavande. Frauenhoffer a dessiné les raies qui se trouvent dans cette partie du spectrejusqu'en I. Nous rappelons l'existence de ces rayons, parce qu'il y a des substances qui les interceptent, tout en laissant passer les autres rayons lumineux. Nous indiquons les écrans qui ont été successivement soumis à l'expérience par M. Ed. Becquerel.

LIQUIDES PURS ET INCOLORES.

Eau.
Alcool absolu.
Acide sulfurique.
— nitrique.
— chlorhydrique.
Chlorure d'étain liquide.
Sulfure de carbone.
Chlorure liquide de carbone.
Hydrocarbure de brôme.
Hydroch. de chlorure d'aldehydène.
Aldehyde.
Eupione.
Créosote.
Essence de térébenthine.
— de citron.
— d'anis.
— d'amandes amères.
— d'élémi.
Huile de naphte.
— de copahu.
Iodure d'amyle.
Acétate d'oxyde d'amyle.
Acide valérianique.
Solution aqueuse de sulfate acide de quinine.

SOLIDES INCOLORES.

Flint-glass.
Verre à vitre.
Quartz.
Topaze.
Mica.
Nitre.
Plomb carbonaté.
Dichroïte.
Diopside.
Baryte sulfatée.

Les liquides ont été renfermés dans un écran de flint-glass d'un centimètre d'épaisseur (pl. XII, fig. 8), et les solides taillés en lames peu épaisses. On a pris d'abord pour substance impressionnable de l'iodure d'argent employé de deux manières : 1° en couches très-minces déposées sur des plaques d'argent, à la manière de M. Daguerre, et dont la sensibilité était augmentée par l'addition de brôme ou de chlore ; 2° en couches formées par voie de double décomposition sur une feuille de papier, suivant la méthode de M. Talbot, indiquée précédemment. Décrivons maintenant l'appareil dont M. Edmond Becquerel s'est servi dans ses expériences.

Sur un plan en bois ou en métal MN (pl. XII, fig. 7), est fixé verticalement un écran métallique AB peint en blanc, dans lequel sont pratiquées deux ouvertures circulaires a, a' de 5 milimètres environ de diamètre et situées sur la même verticale. Derrière cet écran se trouve un prisme en flint CD mobile autour de l'arête CD. Entre le prisme et l'écran AB, on place l'écran liquide, de manière que l'ouverture de ce dernier soit placée devant a', afin que les rayons réfractés, après avoir traversé le liquide, passent par a'. Cet appareil est disposé dans une chambre obscure, à une distance d'un à deux mètres d'une ouverture verticale très-étroite, à travers laquelle on introduit un faisceau de rayons solaires réfléchis sur la glace métallique d'un héliostat, tombant horizontalement sur AB, dans le plan Saa' ; on a de cette manière, derrière AB, deux faisceaux de rayons, l'un $a\,r$, l'autre $a'r'$, qui ne différeront l'un de l'autre qu'en ce que l'un n'aura traversé que l'air, et l'autre l'air et le liquide d'essai. Les deux spectres, qui sont horizontaux, sont reçus à quelque distance sur un écran; par conséquent, les parties de même réfrangibilité sont situées sur une même verticale. Si donc on fait agir ces deux spectres simultanément sur une même surface impressionnable, on pourra voir si dans celui formé par les rayons qui ont traversé l'écran liquide ou solide, il se trouve ou non tous les rayons contenus dans l'autre.

Pour bien préciser la position des diverses parties du spectre, on place derrière le prisme une lentille achromatique EF, d'un mètre environ de foyer, et on met CD dans la position nécessaire pour qu'on ait le minimum de déviation. Les rayons convergent alors en O; et au delà de ce point on a deux spectres bc, $b'c'$ avec toutes leurs raies, de sorte que l'on peut noter la position des rayons de chaque réfrangibilité. En substituant au prisme de flint-glass, des prismes d'une autre nature, les effets sont les mêmes, comme nous le verrons plus

loin ; mais alors il faut faire usage d'une lentille de même matière, ou la retrancher tout à fait.

Pour assurer le succès de l'expérience, il faut autant que possible que les deux spectres aient la même intensité d'action ; on remplit cette condition en plaçant sur la route de S *a* un écran en flint, qui fait perdre, par réflexion, des rayons à celui des faisceaux qui en a le plus, de manière à arriver à une intensité sensiblement égale dans les deux spectres. La durée de l'observation dépend de la portion du spectre sur laquelle on opère. Les plaques les plus sensibles doivent rester en action au moins 5 minutes dans les rayons violets, de 10 à 15 au delà, et au moins une heure dans les rayons les moins réfrangibles, après, toutefois, avoir impressionné l'iodure. Dans tous les cas, les spectres doivent être fixes et avoir le plus d'intensité possible.

En opérant comme il a été dit précédemment, et plaçant successivement dans l'écran les liquides ci-après :

Eau, chlorure d'étain liquide, essences d'anis, de copahu, alcool, acides sulfurique, valérianique, acétate d'oxyde d'amyle, on ne trouve aucune différence bien sensible entre les deux spectres. Si l'action, sur la surface sensible, dure de 10 à 15 minutes, on verra une impression entre F et P (pl. XII, fig. 4); si elle dure près de deux heures, elle se manifestera entre F et A, provenant des rayons les moins réfrangibles ou continuateurs.

Avec l'eupione, l'aldehyde, l'iodure d'amyle, on observe une légère différence entre les deux spectres. Celui qui est formé par le passage du rayon dans l'air et le flint, et qui est le spectre type, présente d'abord une action de F en P, tandis que l'action de l'autre va jusqu'à O ; d'où il suit que les liquides absorbent en petite quantité les rayons extrêmes les plus réfrangibles. Quant à ceux qui le sont le moins, ils ne sont pas absorbés. En recommençant les expériences, et après une longue exposition au spectre, il se manifeste une action de F en A, comme dans le spectre type.

Avec l'essence de térébenthine, l'huile de naphte, les rayons extrêmes du côté P sont également absorbés, et l'action s'étend un peu plus vers N, de sorte que l'action chimique du spectre type s'étend de F en P pour les rayons les plus réfrangibles; celle de l'autre, de F en N ou entre N et O. Il est très-difficile de saisir la limite extrême. Quant aux rayons les moins réfrangibles, leur action est la même dans les deux spectres, de F en A.

Avec l'essence de citron, l'hydrocarbure de brôme, l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique, il y a une action dans le spectre type jusqu'en

P, tandis que dans l'autre elle s'arrête dans M ou entre M et N. Le pouvoir absorbant de ces liquides s'arrête donc sur les rayons extrêmes depuis M jusqu'en P (fig. 6). Les rayons les moins réfrangibles ne sont pas non plus absorbés.

Avec le chlorure de carbone liquide, le sulfure de carbone, l'essence d'élémi, il y a action également jusqu'à P dans le spectre type, tandis que dans l'autre elle s'arrête vers I, ou entre I et M.

Avec la créosote, l'essence d'amandes amères, et surtout une solution de sulfate acide de quinine, l'action s'arrête après H, dans le second spectre, de sorte que ces trois liquides absorbent tous les rayons chimiques situés entre I et P; tous ceux compris entre H et A passent dans ces liquides comme dans l'air. (Pl. XII, fig. 5.)

Enfin, des expériences faites jusqu'ici par M. Ed. Becquerel, il faut tirer cette conséquence remarquable : *que les rayons chimiques situés de* A *en* H, *dans la partie visible du spectre, ne sont pas absorbés par les liquides incolores, tandis que ceux situés de* H *en* P *sont plus ou moins absorbés, suivant la nature des liquides, les rayons les plus réfrangibles étant toujours les plus absorbés.*

Passons aux écrans solides incolores.

Le spath-fluor et le mica très-blancs ne donnent lieu à aucune absorption de rayons chimiques.

Le nitre et la baryte sulfatée taillés en lames de 1 à 2 millimètres arrêtent les rayons extrêmes vers O.

Avec le verre à vitre, le plomb carbonaté, la diopside, les rayons situés au delà de M sont absorbés, de telle sorte que le spectre n'a qu'une étendue limitée d'un côté en A et de l'autre entre M et N.

Une lame de dichroïte d'un millimètre d'épaisseur absorbe complétement tous les rayons situés depuis I jusqu'à P; d'où il résulte que le spectre chimique n'a qu'une étendue AH (fig. 5); et même un peu au delà de H, la limite extrême la plus réfrangible étant entre H et I.

Il en est donc des écrans solides comme des écrans liquides, c'est-à-dire que les rayons les moins réfrangibles n'éprouvent aucune modification appréciable.

Nous ne devons pas oublier de mentionner une observation importante due à M. Ed. Becquerel : c'est que, bien que l'étendue des spectres chimiques soit différente, puisque toute la partie IP peut être enlevée, *néanmoins le maximum d'action reste sensiblement à la même place, entre H et G pour l'iodure d'argent.*

Pour compléter la solution de la question, il fallait déterminer les intensités du courant électrique correspondant aux actions chimiques

exercées par les diverses parties de chaque spectre sur les substances impressionnables : c'est ce qui a été fait par M. Ed. Becquerel, de la manière suivante. Avant de former le spectre qu'il a projeté sur l'actinomètre, il a fait traverser les rayons dans un écran d'essence d'amandes amères ou de créosote, substances qui arrêtent tous les rayons situés depuis I jusqu'en P ; il a obtenu alors pour les rayons les plus réfrangibles :

DIVISION de l'actinomèt.	RAIES du spectre solaire correspondantes.	RAPPORT des effets produits dans le galvanomètre sans l'interposit d'un écran.	ÉCRAN D'ESSENCE D'AMANDES AMÈRES.		ÉCRAN DE CRÉOSOTE.	
			Déviation du galvanom.	Rapport des effets produits.	Déviation du galvanom.	Rapport des effets produits.
83,5	près de P.	0,05	0	0	0	0
83	»	0,10	0	0	0	0
82	»	0,17	0	0	0	0
81	vers M	0,30	0	0	0	0
80	»	0,58	0,9	0,18	2	0,25
79,5	vers H	0,74	2,5	0,5	2	0,25
79	»	0,91	4	0,8	5,5	0,7
78,5	maximum.	1	5	1	8	1
78	vers G	0,74	3,6	0,72	6	0,75
77	»	0,37	»	»	»	»

Ces résultats montrent que les effets ne commencent à être sensibles que vers H, et qu'en H l'intensité d'action est diminuée, le maximum restant à la même place, et qu'au delà les déviations ont conservé le même rapport.

Les rayons continuateurs situés dans la partie la moins réfrangible du spectre présentent les mêmes résultats dans les trois cas, c'est-à-dire qu'ils n'éprouvent de déperdition que celle due à la réflexion sur les faces de l'écran au passage d'un milieu dans un autre.

Examinons maintenant comment se comporte à l'égard des écrans, sous le rapport lumineux, la partie du spectre au delà de H jusqu'en I, qui n'a pas une teinte bien déterminée, et dont il a été fait mention précédemment. Si le rayon, avant d'être brisé par le prisme, a traversé un écran de créosote, d'essence d'amandes amères, de sulfate acide de quinine ou de dichroïte, tout le papier entre H et M n'est pas éclairé,

d'où il suit que les rayons lumineux situés au delà de H sont en partie absorbés. On voit par là *que ces substances, en même temps qu'elles absorbent tous les rayons chimiques agissant au delà de H, absorbent également les rayons lumineux situés dans cette partie du spectre;* mais comme ces rayons n'ont qu'une très-faible intensité relativement aux autres rayons visibles, et qu'ils n'ont pas de coloration sensible, leur absorption ne change pas la couleur de ces écrans par transparence, qui paraissent toujours blancs comme les autres. Il existe donc une liaison intime entre les rayons lumineux (qui éclairent) et les rayons chimiques.

En expérimentant avec d'autres substances impressionnables que l'iodure d'argent, M. Edmond Becquerel a obtenu les mêmes effets. Nous citerons entre autres le chlorure et le bromure d'argent, le papier enduit de chromate de potasse, la résine de gaïac. Tous les faits observés à cet égard conduisent aux conséquences suivantes : toutes les substances sensibles n'étant pas impressionnables entre les mêmes limites de réfrangibilité, l'action des écrans doit être très-différente sur les rayons qui les influencent; ainsi toutes celles qui ne sont pas impressionnées par des rayons d'une réfrangibilité plus grande que H, s'impressionnent à peu près également sous tous les écrans transparents, quels qu'ils soient : on dit à peu près, car on ne connaît pas, pour chacunes d'elles, la perte due à la réflexion sur les surfaces, tandis que celles qui sont sensibles à l'action des rayons d'une réfrangibilité plus grande que H s'impressionnent inégalement sous les écrans transparents, puisque ces derniers peuvent être absorbés. On voit donc que pour connaître *à priori* l'action d'un écran transparent sur une substance chimique donnée, il faut déterminer d'abord entre quelles limites de réfrangibilité cette substance est impressionnable, et ensuite quelle est la portion de la partie HP du spectre solaire agissant sur l'iodure d'argent, qui est absorbée par cet écran. Comme exemples de ce que nous venons de dire, nous citerons la résine de gaïac et l'acide chromique : la première se colore dans la partie HP, tandis qu'elle se décolore dans la partie HA. Le second, au contraire, se colore principalement dans la partie IE du spectre. En plaçant donc le gaïac sous un écran d'essence d'amandes amères, ou de sulfate acide de quinine, il ne bleuira pas ; même s'il était bleu, il reviendrait au jaune blanchâtre; et, sous un écran d'eau, la teinte bleue deviendrait plus foncée : l'acide chromique au contraire, se colorera à peu près également sous ces deux sortes d'écrans.

Digitized by Google

Des différents prismes.

Dans les expériences précédentes, on a fait usage d'un prisme de flint-glass. Voyons ce qui se passe avec des prismes de sel gemme, de cristal de roche et d'alun, en opérant avec un spectre par projection sans raies. En raison de la difficulté d'avoir à sa disposition des lentilles formées avec ces diverses substances, il faut employer un miroir métallique pour réfléchir le rayon lumineux; car avec une glace de verre étamé, les rayons, avant de se réfléchir sur la seconde face, traversent l'épaisseur de la glace, et, en entrant dans la chambre obscure, se trouvent dans le même état que s'ils avaient traversé un écran de flint d'une épaisseur double de celle de la glace; mais pour éviter l'objection que des rayons sont absorbés dans l'acte de la réflexion sur une surface métallique, M. Ed. Becquerel a agi avec la lumière directe. Le spectre formé par cette lumière, à la vérité, n'est pas fixe; mais comme l'iodure d'argent est très-impressionnable, puisqu'il suffit de quelques secondes pour obtenir un résultat, il a pu supposer que pendant ce temps le déplacement du spectre était presque insensible. Il a trouvé que le sel gemme agit à très-peu de chose près comme le flint-glass très-limpide; peut-être ce dernier a-t-il une légère action absorbante sur les rayons extrêmes vers P. Si au lieu de flint on emploie un écran de verre à vitre, le spectre formé par les rayons qui traversent cet écran est moins étendu que l'autre, dans le sens de la plus grande réfrangibilité, et il se termine entre M et N, de sorte que toute la partie N P est absorbée.

En remplaçant le prisme de sel gemme par un prisme d'alun, on trouve que les deux spectres ont la même étendue. Il en est de même avec un prisme de quartz; s'il y a une légère différence, elle est en faveur du quartz, comme pour le sel gemme. Le quartz étant bi-réfringent, si l'on ne veut avoir qu'un seul spectre, on doit employer un prisme dans lequel le rayon réfracté dans l'intérieur du prisme suive la direction de l'axe du cristal; alors le faisceau ne se bifurque pas. Les différents prismes solides essayés jusqu'ici se comportent donc comme le flint-glass.

Nous ajouterons que les maxima d'action sont situés aux mêmes places avec les quatre prismes précédents, si l'on n'a égard qu'à leur position relative par rapport aux raies; car on sait très-bien que, quoique les raies soient les mêmes avec différents prismes, cependant leur position relative change un peu, le pouvoir dispersif des substan-

ces n'étant pas le même pour toutes, et les couleurs n'occupant pas toujours la même étendue relative.

En faisant usage de prismes liquides dont les faces sont de minces lames de flint, on observe que la position des maxima d'action reste à la place des mêmes raies que précédemment ; mais le liquide agit en outre comme écran, en absorbant certains rayons chimiques. Alors l'étendue du spectre du côté rouge A reste la même, tandis que du côté P elle peut varier beaucoup. On en a la preuve en prenant un prisme de sulfure de carbone, dont le pouvoir dispersif est si considérable, et qui donne un spectre lumineux très-étendu; mais, comme cette substance arrête les rayons situés depuis I jusqu'en P, l'action chimique ne se manifeste que de A en F pour les rayons les moins réfrangibles, et de F en I pour les autres. Ainsi les raies M, N, O, P, ne peuvent jamais être dessinées. Avec d'autres prismes liquides et solides, les résultats sont analogues, c'est-à-dire que la substance agit non-seulement comme prisme, mais encore comme écran.

Des écrans colorés.

Tout ce que nous avons dit jusqu'ici touchant les rapports qui lient les rayons chimiques aux rayons lumineux, semble indiquer une dépendance mutuelle entre ces deux sortes de rayons, dépendance telle que, les rayons lumineux étant absorbés, les rayons chimiques de même réfrangibilité le sont également. Nous allons en avoir une nouvelle preuve dans l'examen que nous allons faire de l'influence qu'exercent les écrans différemment colorés sur les divers rayons du spectre. Mais auparavant, nous devons faire quelques observations touchant l'intensité relative des rayons lumineux et des rayons chimiques de même réfrangibilité, ou, en d'autres termes, de la différence qui existe entre la faculté éclairante d'une partie quelconque du spectre et l'intensité d'action chimique produite par cette même partie sur la substance soumise à l'expérience. En opérant sur l'iodure d'argent déposé, soit sur une feuille de métal, soit sur une feuille de papier, il peut se faire qu'un écran laisse passer les rayons chimiques d'une portion du spectre, et qu'on n'aperçoive pas à l'œil des rayons lumineux, sans qu'on soit en droit d'en conclure que l'écran absorbe la lumière à l'exclusion des rayons chimiques, car il peut absorber également une même portion de ces deux rayonnements; seulement, la lumière qui reste n'impressionne pas notre rétine. D'un autre côté, lorsqu'un très-faible rayon lumineux frappe la rétine, l'impression

qu'il y produit est insensible ; vient-on à centupler ce rayon, l'action est plus ou moins marquée; mais si ces cent rayons, égaux au premier, n'arrivent que successivement sur la rétine au lieu d'arriver ensemble, les actions individuelles ne s'ajouteront pas, et il n'y aura aucun effet. Il n'en est pas de même à l'égard des rayons chimiques : un rayon excessivement faible ne produira aucune action, tandis que les cent rayons venant à frapper la plaque ensemble ou successivement, celle-ci recevra la même impression, attendu que la somme d'action chimique sera la même. C'est précisément pour cela qu'un rayon chimique excessivement faible donne des effets appréciables en agissant sans interruption pendant plusieurs heures sur une surface donnée. La différence d'effets dans les deux cas provient, dans le premier, de ce que la rétine ne conserve que pendant un temps très-court l'impression de la lumière, tandis que dans le second la substance conserve celle des rayons chimiques. On voit par là combien on doit être circonspect dans la comparaison que l'on essaye de faire entre les rayons lumineux et les rayons chimiques, le maximum d'action des rayons lumineux n'étant pas situé à la même place que celui des rayons chimiques.

Le procédé employé pour étudier l'action des écrans colorés sur les rayons solaires est le même que celui qui a été indiqué précédemment.

Lorsqu'on veut agir avec les rayons les plus réfrangibles, il faut se servir d'un spectre peu intense; on reçoit le faisceau entier *Saa'* (fig. 7) sur le prisme, et on place l'écran derrière ce prisme, au foyer de la lentille EE; on se trouve avoir, dans la position du minimum de déviation, un spectre solaire d'une longueur de 1 décimètre à peu près, d'une intensité assez considérable, et dans lequel les raies sont nettement dessinées; on tourne un peu le prisme autour de la position du minimum de déviation jusqu'à ce qu'on les voie distinctement.

Verre coloré en rouge par le protoxyde de cuivre. Le spectre formé par la lumière qui a traversé un verre rouge et un prisme est composé comme il suit : Une partie lumineuse comprise entre A et le milieu de l'orangé, forme une teinte rouge bien prononcée. Les raies (*a*) se distinguent assez bien. Cette image se termine après A, et ensuite brusquement de l'autre côté, entre C et D ; une légère lueur se montre vers F (ou E), ce qui indique des rayons de cette réfrangibilité traversant l'écran.

En recevant le spectre sur de l'iodure d'argent impressionné, après deux heures d'action d'un soleil ardent, on voit une impression sur

la plaque, après l'avoir passée au mercure, impression qui correspond exactement à la partie éclairée en rouge et qui se termine aux mêmes lignes. Les raies (*a*) sont assez bien définies. On observe encore une légère action vers EF, ce qui indique que des rayons de cette réfrangibilité ont impressionné la plaque. On voit donc qu'avec ce verre, *dans les points où la lumière est absorbée totalement, il n'y a pas de rayons chimiques, et que, relativement au sel d'argent essayé, ce verre ne laisse passer, presque en totalité, que les rayons continuateurs.* Avec des verres d'un rouge moins foncé, les résultats sont les mêmes, si ce n'est qu'il y a plus de rayons situés vers F qui impressionnent la plaque. Des verres rouges très-foncés peuvent donc laisser passer des rayons d'une autre réfrangibilité que le rouge, et l'iodure d'argent est impressionné par des rayons correspondant au bleu ou au vert prismatique. Il est probable que ces rayons auront dû agir lorsque M. Moser, dans son expérience, a laissé plusieurs jours une plaque sous un verre rouge à la lumière.

Un verre jaune d'or, placé sur la route d'un rayon lumineux avant son passage dans un prisme, s'est comporté de la même manière sur les rayons chimiques que sur les rayons lumineux.

Une solution de persulfocyanure de fer, étendue ou concentrée, a été mise dans l'écran. La première, qui a une couleur jaune semblable à celle du verre jaune, a donné les mêmes résultats qu'avec ce verre. Avec la solution concentrée, qui est colorée en rouge, les résultats ont été également les mêmes qu'avec le verre rouge.

Solution de tournesol. Cette solution, concentrée, paraît rouge, et agit également comme un verre rouge. Quand elle est étendue, elle paraît bleue, et dans des proportions intermédiaires, violette. Une solution violette, placée dans l'écran de verre de 1 centimètre d'épaisseur et opérant comme précédemment, produit les effets que nous allons décrire. Cette substance laisse passer la partie AC, rouge, du spectre lumineux. Il y a une interruption de C en D et E, au commencement du vert, puis, on voit la partie lumineuse depuis cette limite jusqu'à H qui ne paraît que peu affaiblie. Quand on reçoit ce spectre sur l'iodure d'argent, voici ce qui arrive : Si l'exposition ne dure que quelques minutes, il se manifeste une action depuis F jusqu'au delà de H, correspondant aux rayons les plus réfrangibles. Si elle dure plus longtemps, par exemple une heure ou deux, il y a une action depuis F jusqu'en D et E, dans la partie où les rayons lumineux diminuent d'intensité, puis une autre de C en A correspondant à la partie lumineuse AC. Avec cette substance, les

rayons qui opèrent la décomposition de l'iodure éprouvent donc encore la même absorption que les rayons lumineux de même réfrangibilité.

Les expériences que M. Edmond Becquerel a faites sur le verre bleu et d'autres verres colorés conduisent toutes à la même conséquence, savoir, que lorsqu'une substance agit par absorption sur une portion du spectre lumineux, elle se comporte aussi de la même manière sur la portion de même réfrangibilité du spectre chimique qui influence une substance sensible; que les différences qui paraissent exister ne proviennent que de ce que l'on n'a pas égard à l'intensité relative d'action de ces parties des deux spectres par rapport à leurs maxima et à l'étendue du spectre actif. Tous les faits observés jusqu'ici tendent donc à prouver que les réactions chimiques et les phénomènes lumineux sont engendrés par un seul et même rayonnement, dont les effets sont modifiés suivant la nature du corps sur lequel il agit. Ainsi un écran coloré étant donné, on peut savoir l'action qu'il exercera sur une substance sensible également donnée. Les lumières artificielles se comportent comme des écrans colorés.

Lois physiques des rayons chimiques.

Nous avons rapporté avec détail tout ce qui concerne l'action des rayons de diverse réfrangibilité sur les corps qui changent d'état chimique sous l'influence de la lumière, parce que ces phénomènes sont d'une grande importance, et peuvent expliquer les différentes actions que l'on observe quand ces corps sont soumis à l'influence des rayons solaires.

Nous ne devons pas oublier de mentionner les recherches que l'on a faites sur les lois physiques auxquelles ces rayons sont assujettis : ces lois sont identiquement les mêmes que celles des rayons lumineux de même réfrangibilité. Comme ces dernières sont connues et décrites dans tous les ouvrages de physique générale, nous n'entrerons pas dans de grands détails à ce sujet. Les rayons chimiques sont donc soumis aux mêmes lois de la réflexion et de la réfraction. M. Bérard a montré qu'ils éprouvaient aussi la double réfraction absolument comme les rayons lumineux, et M. Arago qu'ils interféraient comme les rayons lumineux de même réfrangibilité, et enfin plusieurs physiciens ont prouvé qu'ils se polarisaient et qu'on avait sur une surface chimiquement sensible tous les anneaux colorés et les figures produites par les cristaux à l'aide des rayons lumineux. De plus, il est probable que lorsqu'ils agissent sur une matière chimiquement sensible ils peuvent être éteints; c'est-à-dire que leur action est détruite de même que

pour les rayons lumineux qui sont absorbés par les corps colorés. Après que M. Ed. Becquerel eut annoncé l'existence des raies du spectre chimique, M. Arago l'engagea à répéter ses expériences en recevant le spectre sur des substances chimiques placées dans d'autres milieux, afin de savoir si un changement de vitesse dans les rayons produirait une différence dans la position des raies. Elles furent répétées en plaçant les sels d'argent impressionnables dans l'eau; la position des raies fut la même que dans l'air. M. Arago en a conclu que la vitesse était sans influence sur ces phénomènes, et que si le système de l'émission est vrai, les effets photogéniques de la lumière solaire, soit qu'ils proviennent de rayons visibles ou invisibles, ne peuvent être attribués à une action exercée à la surface de la couche impressionnable, et que c'est à l'intérieur de la matière que l'on doit chercher le foyer de ce genre d'action. Ainsi d'après ce système, les rayons pénétreraient dans la couche sensible, et ce serait dans l'intérieur de cette couche qu'ils prendraient la vitesse qui leur est propre pour produire l'effet chimique. Mais s'il en est ainsi pour les diverses substances impressionnables, qui sont différentes, à une certaine profondeur de la couche sensible, les rayons ne devraient pas avoir la même vitesse, et cependant les raies des différents spectres chimiques sont toujours aux mêmes places.

On peut conclure de l'ensemble des faits observés par M. Ed. Becquerel, que les phénomènes lumineux, chimiques et phosphorogéniques proviennent d'un seul et même agent dont l'action se modifie suivant la nature de la matière sensible qui est exposée à son influence, et le genre de modification dont cette substance est susceptible. Ainsi, sur la rétine, la sensation lumineuse n'est que de peu de durée; sur une substance chimiquement sensible, les rayons solaires détruisent l'équilibre moléculaire, de manière à donner lieu à un nouvel arrangement atomique; sur une substance phosphorescente, les rayons n'agissent qu'en troublant momentanément l'équilibre moléculaire et par suite l'état électrique des particules, lequel se rétablit peu à peu, en donnant lieu à une émission de lumière. Les divers effets observés dans cette foule de phénomènes remarquables que produit l'action des rayons solaires, proviennent donc d'une différence entre les matières sensibles, et non de la modification de l'agent producteur. Quoique nous nous soyons servi des termes de *rayons lumineux, rayons chimiques et rayons phosphorogéniques* pour désigner dans chaque cas la portion des rayons solaires qui agit pour produire des effets lumineux, chimiques ou phosphoriques, ces dénominations

n'infirment en rien l'opinion émise de l'existence d'un seul et même rayonnement. On ne les a adoptées que pour simplifier l'exposé des phénomènes. On peut donc continuer à se servir des expressions *rayons lumineux*, etc., sans y attacher aucune importance.

CHAPITRE II.

De l'emploi de la lumière polarisée pour distinguer, dans quelques cas, les mélanges des combinaisons chimiques définies ou non définies.

Toutes les fois qu'une force, comme la gravitation, agit sur des systèmes matériels assez éloignés les uns des autres pour que les différences d'action, résultant de la configuration de chacun d'eux, puissent être considérées comme insensibles, la résultante des forces élémentaires est proportionnelle aux masses, et en raison inverse du carré de leur distance, comme l'analyse mathématique le démontre. Il doit en être de même à l'égard de particules ou de points géométriques dont les dimensions sont infiniment petites relativement à leurs distances respectives; mais on conçoit très-bien que, pour des distances moindres, la résultante devient sensiblement dépendante du mode d'agrégation et de la forme des particules; et que, pour des distances beaucoup moindres encore, l'influence est telle qu'elle devient manifeste. Dans ce dernier cas, la solution de la question dépasse les ressources de l'analyse mathématique; c'est précisément ce qui arrive pour les actions chimiques qui ne s'exercent presque qu'au contact. D'après ces considérations générales, on conçoit que si l'on veut remonter des effets complexes aux forces élémentaires qui les produisent, on trouve des difficultés telles que le problème devient inabordable. Mais si nous ignorons le mode d'action des forces chimiques appelées *affinités*, en raison de la distance, abstraction faite de la forme des particules élémentaires, nous avons, dans la lumière polarisée, un agent qui éprouve, de la part des particules élémentaires de certaines substances, une action qui, en raison des effets simples qu'elle produit, permet d'étudier leur constitution chimique

de manière à reconnaître quand on les mêle ensemble, à l'état de dissolution, s'il y a simplement mélange ou combinaison. Telle est la question que M. Biot s'est proposé de résoudre. Cette propriété de la lumière polarisée consiste en ce que certains liquides, et même quelques substances solides, font dévier les plans primitifs de polarisation des rayons lumineux d'un certain nombre de degrés et proportionnellement à leur épaisseur. Avant d'exposer les effets observés, définissons ce que l'on entend par rotation des plans de polarisation, afin de bien concevoir ces effets.

Lorsqu'on introduit, à travers une petite ouverture pratiquée dans le volet d'une chambre obscure, un faisceau de rayons lumineux, et que l'on interpose sur sa route un corps cristallisé transparent, dont la forme ne dérive ni du cube, ni de l'octaèdre régulier, ce faisceau se divise généralement en deux autres. Prenons pour exemple un rhomboèdre de chaux carbonatée achromatisé : si l'on fait tomber le faisceau lumineux perpendiculairement à la face antérieure, le rayon émergent ordinaire restera à peu près dans le prolongement du rayon incident, tandis que le rayon réfracté extraordinairement s'en écartera, et l'intensité de l'un et de l'autre restera constante en tournant le prisme autour du rayon incident comme axe. En effet, l'observateur voit deux images circulaires de l'orifice du volet, dont l'une est produite par le rayon ordinaire et reste fixe sur le prolongement de la normale, tandis que l'autre, se trouvant toujours dans la section principale, tourne conséquemment autour de cette normale, qui est la direction du faisceau incident, à mesure que l'observateur fait mouvoir circulairement le prisme. Ces deux images, pendant cette évolution, conservent toujours des intensités sensiblement égales, et renferment uniquement chacune la moitié de la lumière totale transmise. Voilà ce qui a lieu avec la lumière directe ; mais si cette lumière a été polarisée préalablement, les effets changent. Dans le cas de la lumière directe, chacune des images avait une intensité égale de lumière pendant la rotation. Avec la lumière polarisée, chacune d'elles passe par toutes les périodes d'intensité possibles ; mais de telle sorte que celle de l'une s'accroît aux dépens de l'intensité de l'autre, jusqu'à prendre à elle seule toute la lumière transmise ; elle décroît ensuite par les mêmes périodes, jusqu'à s'éteindre tout à fait à son tour, sans pour cela que les images cessent d'être incolores.

Malus a exprimé l'intensité lumineuse de chaque image dans les diverses positions du prisme, par les formules suivantes :

$$I_o = I \cos^2 i; \quad I_e = I \sin^2 i.$$

I exprime l'intensité de la lumière incidente, I_o et I_e, les intensités des rayons ordinaires et extraordinaires, et i, l'angle que forme la section principale du rhomboèdre, à chaque instant, avec plan primitif de polarisation du rayon incident.

On en déduit

$$I_o + I = I,$$

résultat conforme à l'expérience, comme nous l'avons dit précédemment.

L'expérience démontre en outre que toutes les propriétés physiques que possède le rayon polarisé se manifestent symétriquement de chaque côté du plan de polarisation; cette symétrie d'action ne peut être détruite par des actions qui s'exercent également symétriquement des deux côtés de ce plan. Elle devrait donc subsister en transmettant normalement le rayon polarisé à travers une masse solide ou liquide, avant que ce rayon ait traversé le prisme bi-réfringent. Cet effet a généralement lieu, excepté à l'égard de quelques substances qui jouissent de la propriété de faire tourner le plan de polarisation primitif, soit à droite, soit à gauche. Il faut donc qu'il existe dans ces substances une cause dépendant de leur arrangement moléculaire, laquelle réagit sur le rayon polarisé. L'action produite n'a seulement pour but que de faire dévier le plan de polarisation d'un côté ou de l'autre d'un certain nombre de degrés, car les intensités de lumière deviennent symétriques de chaque côté du nouveau plan de polarisation.

Les premiers phénomènes ayant rapport aux faits dont il est question, ont été découverts en 1811, par M. Arago, en faisant traverser un faisceau de lumière polarisée dans des lames minces de substances cristallisées, et il en résulta de brillants effets de couleur. Mais le fait le plus direct est relatif à l'effet produit lorsqu'un rayon polarisé traverse perpendiculairement une plaque de cristal de roche, taillée dans une direction perpendiculaire à l'axe de double réfraction. En analysant le rayon émergent à l'aide d'un prisme bi-réfringent, le rayon se partage en deux autres, de couleur complémentaire, de sorte que dans le cours d'une demi-révolution, l'image extraordinaire qui d'abord était rouge, devient successivement orangée, jaune, verte, bleuâtre, puis enfin violette; après quoi les mêmes séries de teintes se reproduisent dans les quatre quarts de la circonférence. Or, dans ce cas, d'après M. Biot, le plan de polarisation primitif est dévié, soit à droite, soit à gauche de l'observateur, d'un angle proportionnel à l'épaisseur de la plaque, lequel angle est différent pour chaque couleur simple, et va

en croissant avec la réfrangibilité, suivant une *proportion sensiblement réciproque ou carré de la longueur des ondulations propres à chaque espèce de rayon.* Ce mouvement angulaire ne peut être que le résultat d'une véritable rotation imprimée au plan de polarisation primitif. Chaque rayon ainsi dévié se comporte, dans son nouveau plan de polarisation réel ou apparent, comme s'il avait été primitivement polarisé par la réflexion dans ce plan. Cette propriété appartient encore à plusieurs liquides. L'appareil (pl. XII, fig. 1) qui sert à l'observer, est formé des parties suivantes :

Sur une table longitudinale T T, percée d'une ouverture longitudinale à la partie supérieure R R, sont fixés quatre pieds p, p', p'', p''', portant le premier, p, un tube creux en cuivre A B, à l'extrémité A duquel est une glace en verre noirci, destinée à polariser le faisceau de lumière qui pénètre dans le tube. Cette glace est placée à l'extérieur du volet, et le reste de l'appareil est dans une chambre obscure, afin que la rétine ne soit pas affectée par la lumière diffuse; le pied p''' est muni à sa partie supérieure d'un cercle divisé perpendiculaire à la direction A B E, au centre E duquel se trouve un prisme bi-réfringent achromatisé; les pieds p', p'', qui se trouvent entre p et p''', sont destinés à supporter des tubes en verre ou en cuivre t, t', de diverse longueur qu'on place dans le même axe que le tube AB, et remplis des liquides sur lesquels on expérimente. On conçoit d'après cette description le mode d'opérer; il est inutile d'entrer dans aucun détail à ce sujet. Nous allons exposer maintenant les principaux résultats auxquels M. Biot est parvenu, dans ses recherches sur les lois du mouvement du plan de polarisation, résultats qui l'ont mis à même de résoudre plusieurs questions physico-chimiques. Mais auparavant commençons par voir comment se comporte le quartz.

On opère sur des lames taillées perpendiculairement à l'axe et interposées sur la route du rayon polarisé. On trouve, suivant les variétés de quartz, que la rotation a lieu dans un sens ou dans un autre: dans chaque cas, les rotations sont soumises à la même loi; car si l'on interpose dans le trajet d'un rayon lumineux deux plaques douées de propriétés contraires, l'une défait ce que l'autre produit, et, suivant que l'une est plus ou moins épaisse que l'autre, il reste un excès de la rotation primitive en faveur de l'un ou de l'autre. Indiquons encore quelques principes qui permettront de saisir les phénomènes généraux.

Les lois qui régissent la rotation des rayons simples non-seulemen pour le quartz, mais encore pour les liquides dont il va être question,

sont identiques, du moins sensiblement à l'égard de la plupart, si ce n'est cependant pour l'acide tartrique, elles sont les mêmes que pour le quartz; on le prouve en montrant que la rotation opérée par une substance peut être complétement compensée par des plaques de cristal de roche, à rotation contraire. Il en est de même à l'égard des liquides qui se compensent encore mutuellement, lorsqu'en les choisissant de rotation contraire, on les combine en leur donnant des épaisseurs réciproques à leur énergie. Cette compensation s'opère, soit en superposant les substances dans le trajet des rayons, soit en mélangeant les liquides dans le même tube, pourvu toutefois que les deux liquides n'exercent pas l'un sur l'autre des réactions chimiques capables de modifier leur constitution. Si l'on place une même quantité de liquide dans des tubes de longueur différente, et que l'on compense la différence de longueur par des fluides tels que l'eau, l'acool et l'éther, dont l'action propre est sensiblement nulle sur la lumière polarisée, les teintes résultant de la polarisation circulaire demeureront rigoureusement constantes, preuve que la rotation n'a éprouvé aucun changement. De ces différents faits, M. Biot a conclu que l'action exercée sur la lumière polarisée par les substances actives était moléculaire, c'est-à-dire, produite par les dernières particules et dépendant uniquement de leur constitution individuelle, sans aucune relation avec leur position respective. Cette action, néanmoins, dépend de l'arrangement de certains groupes moléculaires, puisque dans le quartz non cristallisé elle ne se manifeste pas, bien que la rotation du quartz cristallisé soit considérable. Le fait que nous énonçons a été confirmé par M. Biot, sur l'essence de térébenthine qu'il a soumise à l'expérience, depuis l'état de sa combinaison solide avec l'acide chlorhydrique, jusques et y compris l'état de vapeur. On reconnaît encore la rotation produite par un écran solide ou liquide placé sur la route d'un rayon polarisé au moyen de la coloration des deux images, quand on analyse le rayon émergent avec un prisme bi-réfringent. Dans beaucoup de cas, ce moyen exige des précautions que nous devons indiquer.

Le pouvoir dispersif des substances ainsi que leur rotation sont quelquefois si faibles, que l'observateur ne pourrait pas saisir assez nettement la couleur pour en tirer des inductions. M. Biot, pour obvier à cet inconvénient, a établi une formule empirique (1), au moyen de laquelle il a prouvé qu'il y avait une position du prisme

(1) *Mém. de l'Institut*, t. XIII.

très-voisine du plan primitif de polarisation, pour laquelle l'image extraordinaire était un minimum. En admettant qu'il n'y ait eu aucune absorption de rayons, la teinte est pourpre sombre, tandis qu'un peu avant le minimum elle est d'un beau bleu, caractère qui permet facilement l'observation. Quand le milieu absorbe quelques rayons simples, il existe toujours un minimum d'intensité pour l'image extraordinaire. Indiquons maintenant quelques signes de convention dont on a besoin pour bien faire concevoir les effets produits.

Supposons que CBFG, pl. XII, fig. 12, représente le cercle au centre duquel tourne le prisme bi-réfringent, et supposons en outre que CA soit la direction du plan de polarisation primitif du rayon; si le plan A C est rejeté à droite en C D, ce que l'on reconnaît parce qu'il faut tourner le prisme dans l'angle CAD pour obtenir les mêmes phases à droite et à gauche du plan de polarisation, on dit alors que la substance possède la rotation de gauche à droite, ce qui s'indique ainsi :

Si au contraire le plan de polarisation se trouve dans le cadran CAG, en A E, la rotation s'opère de droite à gauche, et le sens s'indique par une flèche en sens contraire

Il peut très-bien se faire, comme l'a observé M. Biot, que toutes les rotations s'exécutent dans le même sens, car la rotation à gauche de l'angle CAE est la même que la rotation à droite pour une valeur égale à l'angle qui a pour mesure l'arc C D B H F G E; au delà de 90°, on reconnaît le sens de la rotation en suivant l'ordre du changement des teintes, à mesure qu'on tourne le prisme; car pour toutes les substances, l'acide tartrique excepté, le pouvoir de rotation pour les différents rayons simples est d'autant plus grand que la réfrangibilité est plus considérable.

Nous avons maintenant ce qui est nécessaire à l'étude de la rotation, non-seulement dans le cristal de roche, mais encore dans les substances où ce phénomène a été observé.

Rotation du cristal de roche.

Puisque toutes les substances douées du pouvoir rotatoire donnent

les mêmes lois de rotation pour les différents rayons colorés, il suffit de faire les expériences avec un seul rayon coloré. Nous donnons ici les nombres obtenus par M. Biot, et qui expriment les rapports de rotation des différents rayons simples pour une seule et même plaque de cristal de roche.

Arcs de rotation, en degrés sexagésimaux, des divers rayons simples, à travers un millimètre d'une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe C.

Rouge extrême	17°,4964	
Rouge moyen		18°,9881
Limite du rouge et de l'orangé	20°,4798	
Orangé moyen		21°,3968
Id. de l'orangé et du jaune	22°,3138	
Jaune moyen		23°,9945
Id. du jaune et du vert	25°,6752	
Vert moyen		27°,8606
Id. du vert et du bleu	30°,0460	
Bleu moyen		32°,3088
Id. du bleu et de l'indigo	34°,5717	
Indigo moyen		36°,1273
Id. de l'indigo et du violet	37°,6829	
Violet moyen		40°,888
Violet extrême	44°,0827	

Ces nombres ont été calculés de la manière suivante. On commence par reconnaître la série de teintes que prennent les images dans des positions fixes, et, au moyen de formules et de la règle empirique de Newton pour trouver la teinte qui résulte du mélange de rayons dont on connaît les proportions, on obtient des valeurs très-approchées des véritables. On n'a besoin, ordinairement, que de la mesure d'une rotation provenant d'une même espèce de rayons, des rouges, par exemple, que l'on obtient avec des verres qui ne laissent passer sensiblement que des rayons de cette couleur. Effectivement, leur réfrangibilité est comme celle qui provient des rayons rouges du spectre situé aux deux tiers de la longueur du rouge, à partir de l'extrême rouge jusqu'à l'orangé.

Pour observer la rotation produite sur ces rayons par le quartz ou toute autre substance, on place le verre rouge vis-à-vis du

prisme bi-réfringent, et on observe, comme il a été dit précédemment, en ayant toujours l'attention d'être dans l'obscurité et de placer la glace à l'extérieur.

Lorsque l'on veut mesurer le pouvoir rotatoire de substances qui ne le possèdent que faiblement, on ne peut expérimenter avec un rayon simple, attendu que les résultats seraient très-faibles; mais on a recours à la détermination du minimum d'intensité de l'image extraordinaire.

M. Biot a démontré que les effets produits étaient proportionnels à l'épaisseur des lames, et que le phénomène de rotation n'était pas inhérent aux particules de l'acide silicique, mais dépendait de leur groupement, de leur mode de cristallisation. Il a suffi pour cela de soumettre à l'expérience la substance après l'avoir désagrégée. Dans le quartz fondu par le procédé de M. Gaudin, il n'a reconnu aucune trace de rotation, ainsi que dans une plaque de cristal de roche taillée perpendiculairement à l'axe, et dont une partie avait été fondue. Cette dernière, éclairée par la lumière polarisée et vue à travers le prisme bi-réfringent, était complétement blanche. Avec du silicate de potasse soluble formé avec des prismes de quartz, et faisant dévier le plan de polarisation, M. Herschel a trouvé ce liquide inactif. Mais on ne peut tirer aucune induction de ce fait négatif, parce que la potasse, en se combinant avec le quartz, avait pu détruire la rotation propre à cette dernière substance quand elle est cristallisée.

D'autres minéraux, qui ne renferment que de la silice ou seulement de l'eau, tels que le quartz résinite, le quartz opalin, etc., sont dépourvus du pouvoir rotatoire, ainsi que le tabasheer, qui paraît composé presque exclusivement de silice. Ces faits ne sont pas concluants, car rien ne prouve que la silice, en s'hydratant, ne soit profondément affectée dans sa constitution, au point de perdre son pouvoir rotatoire. D'un autre côté, nous avons la preuve que ce pouvoir, qui est propre également à l'acide tartrique, augmente quand celui-ci est dissous dans l'eau. Néanmoins, l'ensemble des faits prouve que le phénomène dépend de l'arrangement moléculaire. Au surplus, la rotation étant tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, dans diverses variétés de cristaux de quartz les plus réguliers, on a dans ce fait une preuve en faveur de ces conséquences. Supposons un instant des cristaux à pouvoir contraire complétement désagrégés, et leurs particules disséminées, à l'état liquide, dans un milieu qui ne les modifierait pas essentiellement, il faudrait, dans le cas où le pouvoir rotatoire leur appartiendrait en propre, que les deux systèmes con-

traires conservassent leur opposition de sens dans la rotation, ce qui exigerait deux espèces d'acide silicique; hypothèse inadmissible.

Une observation curieuse de M. Herschel jette quelque jour sur le phénomène qui nous occupe. Les prismes de quartz présentent, dans la variété nommée *plagièdre* par Haüy, une ou plusieurs facettes inclinées sur les plans du prisme, lesquelles obliquent de droite à gauche sur la direction de l'axe dans certains cristaux, et de gauche à droite dans d'autres. En étudiant le pouvoir rotatoire et sa direction dans vingt-trois prismes appartenant à la variété plagièdre, il a trouvé une relation constante entre le sens de rotation et celui de l'inclinaison des facettes par rapport à l'axe. Cette observation a été confirmée également par M. Biot.

Pouvoir rotatoire des substances isomères.

Ce pouvoir ne dépend pas seulement de l'arrangement des molécules, car la nature de celles-ci y concourt également, puisque l'essence de térébenthine porte son pouvoir rotatoire dans plusieurs de ses combinaisons. Il devenait donc important d'étudier le pouvoir rotatoire des substances qui ont une même composition chimique. Mais définissons d'abord, d'après M. Biot, ce qu'on doit entendre par pouvoir rotatoire d'une substance.

Soit $[\alpha]$ le pouvoir rotatoire imprimé par la substance active à un rayon type (le rayon rouge, par exemple), à travers une épaisseur d'un millimètre et une densité hypothétique égale à I; avec une épaisseur l, la déviation serait $[\alpha]l$, et avec une densité δ,

$$[\alpha]l.\delta.$$

Soit α cette déviation, on aura

$$\alpha = [\alpha]l\delta,$$

d'où, pour le pouvoir rotatoire,

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{l\delta}.$$

Voilà pour le pouvoir rotatoire quand la densité change. Supposons maintenant que la substance active soit mélangée avec une autre, celle-là entrant dans la proportion e. Supposons que d désigne à présent la densité du liquide mélangé, on aura

$$[\alpha]lde = \alpha$$

Or, en appelant P le poids absolu de la substance active employée, E celui de la substance inactive, on aura

$$e = \frac{P}{P + E},$$

d'où

$$[\alpha] = \frac{\alpha(P + E)}{Pdl}.$$

En étudiant les actions exercées par les corps isomères sur la lumière polarisée, M. Biot n'a pas toujours trouvé des résultats analogues, attendu que le mode de condensation des éléments des corps agit de même que leur groupement cristallin. En effet, nous verrons que la solution aqueuse d'acide tartrique, à différents degrés de température, quoique ne cessant pas d'être isomère, se comporte différemment à l'égard de la lumière. Il pourrait se faire qu'il s'opérât des combinaisons d'acide et d'eau n'agissant pas de la même manière sur la lumière polarisée. Parmi les résultats remarquables obtenus par M. Biot, quant aux corps isomères, nous mentionnerons ceux relatifs aux essences de térébenthine et de citron, qui, avec le verre rouge, ont donné :

CORPS.	LONGUEUR DU TUBE.	VERRE ROUGE, DÉVIATION
Essence de térébenthine.....	341mm,6	— 90°,567
Essence de citron.....	168 ,5	+ 89°,750

D'où l'on déduit :

$[\alpha]$ essence de citron..... = 60,27,
$[\alpha]$ *id.* de térébenthine = 30;

c'est-à-dire que le pouvoir rotatoire de l'essence de citron est à peu près double de celui de l'essence de térébenthine, mais en sens inverse.

Ces deux substances ont pour composition :

Carbone.....	88,9
Hydrogène.....	11,1
	100,0

Or, d'après le mode de combinaison avec les acides, on admet que l'essence de térébenthine a un poids atomique double de celui de l'essence de citron; en effet,

Essences	de térébenthine.....	$C^{40} H^{32}$
	de citron.....	$C^{20} H^{16}$

D'où l'on conclut que le rapport entre les poids atomiques et les pouvoirs rotatoires sont les mêmes, mais en sens inverse. C'est le seul exemple de ce genre que l'on ait encore observé.

On a admis, dans le rapprochement que nous venons de faire, que le poids atomique de l'essence de térébenthine était double de celui de l'essence de citron, attendu que, combiné avec l'acide chlorhydrique, le premier exige moins d'acide que l'autre pour former un chlorhydrate. Mais il est à présumer que dans la combinaison qui s'opère l'essence de térébenthine est profondément altérée, car en décomposant le chlorhydrate, on a une huile essentielle isomère avec l'essence de térébenthine et non plus identique avec elle, son action sur la lumière polarisée étant telle que sa rotation, quoique ayant lieu dans le même sens, était 7,062 moins forte que celle de l'essence de térébenthine.

L'acide tartrique et l'acide paratartrique ont même composition et ne présentent de différences dans leurs propriétés chimiques que dans leur mode de solubilité et de cristallisation; l'un et l'autre, soumis à l'action de la lumière polarisée, présentent des différences. Le premier agit avec un pouvoir mesurable, tandis que le second n'éprouve aucune action dans les mêmes circonstances. On a là encore une preuve que le pouvoir rotatoire d'une substance ne dépend pas uniquement de la nature de ses particules. Néanmoins, on peut se servir dans quelques cas du pouvoir rotatoire d'une substance, comme moyen d'analyse chimique pour en découvrir la présence, et même les proportions quand elle se trouve mélangée avec une autre substance inactive.

Pouvoir rotatoire des sucres, de la dextrine et de différents sucs végétaux.

Parmi les substances organiques, le sucre de canne cristallisé est une de celles qui possèdent le pouvoir rotatoire au plus haut degré; il dévie le plan de polarisation à droite, et cette propriété a été mise à profit par M. Biot, pour distinguer et déterminer sa proportion dans

son mélange avec d'autres sucres; avec le sucre de raisin, par exemple, qui dévie le plan de polarisation à gauche.

Trois expériences faites sur le sucre de canne, sucre candi, ont donné des résultats suivants :

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	PROPORTION ε de sucre dans l'unité de poids de dissolution.	DENSITÉ δ, celle de l'eau étant I.	ARC DE ROTATION α observé avec le verre rouge, à travers une couche de 152 millimètres.	VALEUR DE a $a = \frac{\alpha}{\varepsilon\delta}$.
1re	0,24999	1,10525	+23°,28',45"	86°,980
2e	0,50055	1,23109	+52°, 7',30"	84°,587
3e	0,65066	1,31141	+70°,11',15"	82°,258
			Moyenne...	83°,942

Autres résultats obtenus également par M. Biot.

PROPORTION de sucre de canne dans l'unité de poids de sa dissolution.	DENSITÉ de la dissolution, la densité de l'eau distillée étant I.	ROTATION du rayon transmis par le verre rouge à travers une épaisseur de 160mm de la dissolution.
0,01	1,004	1°,888
0,02	1,008	1,783
0,03	1,012	2,684
0,04	1,016	3,593
0,05	1,020	4,509
0,06	1,024	5,439
0,07	1,028	6.363
0,08	1,032	7,300
0,09	1,036	8,244
0,10	1,040	9,196
0,11	1,044	10,153
0,12	1,048	11,128
0,13	1,052	12,104
0,14	1,056	13,087
0,15	1,062	14,079
0,25	1,105	24,413
0,50	1,235	54,450
0,65	1,311	75,394

M. Biot a cherché s'il y avait un rapport constant entre le pouvoir de rotation moléculaire $(A) = \frac{\alpha}{\varepsilon\delta e}$; e étant l'épaisseur de la plaque observée, dans les deux états de liquidité et de solidité, lorsque le mode de liquéfaction n'altère pas la constitution du sucre.

En opérant sur une dissolution d'eau sucrée, il en a conclu comme ci-dessus :

$$\frac{\alpha}{\varepsilon\delta} = 70,975$$

pour une épaisseur de 160 millimètres, d'où pour la rotation moléculaire

$$(A) = \frac{70,975}{160}.$$

Si l'on considère α comme connu pour les observations suivantes sur le sucre solide et pour $\varepsilon\delta e$ la valeur se rapportant au sucre solide, on

trouve que les nombres calculés sont ceux obtenus par l'observation.

ÉPAISSEUR DU SUCRE FONDU.	ARC DE ROTATION A TRAVERS LE VERRE ROUGE		EXCÈS DU CALCUL.
	calculé.	observé.	
37,3 mm	+ 24°,97	+ 24°,23	0°,74
24,6	+ 16,47	+ 15,54	0,93

Le sucre de canne donne donc une déviation à droite de l'observateur. Nous donnons ici un tableau de M. Biot sur la rotation des différents sucres.

SUBSTANCES.	POUVOIR ROTATOIRE à travers un tube de 152mm, c'est-à-dire (α) × 152, pour les rayons rouges, provenant d'un verre rouge, ayant une réfrangibilité correspondante aux rayons compris entre les $\frac{2}{3}$ du rouge prismatique à partir de l'extrémité rouge.	
Sucre de canne, candi (d'après sa dissolution)	+83°,942	$C^{12}H^{15}O^{9}+2H^{2}O$.
Idem, bouilli avec de l'eau et refroidi subitement	+62°,619	
Sucre de lait cristallisé	+70°,180	$C^{24}H^{38}O^{19}+3H^{2}O$.
Sucre d'amidon en grains blancs	+59°,942	
Sucre de raisin en sirop	«	
Idem en grains blancs	+59°,096	$C^{12}H^{28}O^{14}$.
Principe cristallisable du miel	+43°,322	
Idem incristallisable	«	
Mannite cristallisée	insensible	$C^{6}H^{14}O^{6}$.

Le sucre de canne ayant une rotation déterminée, on peut calculer sa proportion dans une dissolution, de sorte que la rotation peut devenir un moyen d'analyse chimique très-sensible; nous allons en donner un exemple.

On sait que l'amidon ou la fécule peut être représenté dans sa composition par du sucre, plus de l'eau, de sorte qu'en faisant bouillir cette fécule avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, elle se transforme en sucre qui fait tourner le plan de polarisation à droite de même que le sucre de canne; mais on peut distinguer l'un de l'autre de la manière suivante, comme l'ont indiqué MM. Biot et Persoz : le sucre de canne dissous dans l'eau acidulée avec l'acide sulfurique et chauffé au-dessous de l'ébullition, perd sa constitution moléculaire et manifeste la rotation à gauche propre au sucre de raisin non solidifié. Cet effet n'a pas lieu avec le sucre d'amidon.

La gomme arabique a la même composition que le sucre de canne; il devenait intéressant d'étudier sa rotation; à cet effet, M. Biot a dissous $47^{gr},4$ de gomme dans $99^{gr},127$ d'eau distillée. Cette solution introduite dans un tube de 152 millimètres a présenté la rotation en sens inverse du sucre de canne, c'est-à-dire que l'on a eu

$$\frac{\alpha}{\varepsilon e \delta} = -\frac{33^{\circ},729}{152}$$

quantité moindre que le sucre de canne, et en sens inverse.

Dans le travail dont nous venons de faire connaître quelques-uns des principaux résultats, MM. Biot et Persoz ont été conduits à la découverte de la dextrine. Cette substance, qui a la même composition que l'amidon, est produite par l'altération immédiate du principe contenu dans les grains qui la composent.

En faisant bouillir de l'amidon avec de l'acide sulfurique étendu d'eau, cette substance, avant de se transformer en sucre, se change en une matière d'apparence gommeuse, qui n'est pas de la gomme, mais qui peut remplacer celle-ci dans un grand nombre de cas, et qui jouit de la propriété de faire tourner le plan de polarisation à droite, plus fortement que le sucre de canne et que toute autre substance organique connue, excepté le quartz; c'est pour ce motif qu'on lui a donné le nom de dextrine.

Si l'on observe d'une manière suivie, à l'aide de la lumière polarisée, la dissolution précédente soumise à l'action de la chaleur, on peut re-

connaître le moment où les molécules éprouvent de grandes variations dans leur mode d'arrangement. La chimie ne possède aucun moyen de constater l'instant où il faut s'arrêter pour que cette transformation s'opère. Au moyen de la lumière polarisée on a reconnu qu'à une température un peu au-dessous de 100°, la rotation augmente considérablement; en continuant à chauffer, il y a un instant où la rotation diminue de nouveau considérablement et ensuite ne change plus; c'est alors que toute la transformation est effectuée. On voit par là tout le parti que l'on peut tirer de la lumière polarisée comme moyen d'analyse chimique.

M. Biot a fait une heureuse application à la médecine des principes qu'il a trouvés; il s'est proposé de déterminer à la seule inspection de l'urine d'un diabétique la quantité de sucre qu'elle renferme. Il a commencé par examiner le pouvoir rotatoire du sucre des diabètes purifié, et d'après son pouvoir il a pu calculer dans une quantité de liquide inactif quelconque la quantité de sucre qui s'y trouve.

On sait que le diabète sucré est un sel sapide, fermentescible et cristallisable, et qui présente les caractères de solubilité, de fusibilité et d'apparence cristalline identiques à ceux du sucre de raisin cristallisé; et que de plus, ce sucre, et ceux de raisin solidifié et d'amidon ont tous la même composition pondérable. Il était permis de croire, d'après cela, que les urines diabétiques pouvaient contenir deux espèces de sucre distinctes, l'un sapide, l'autre insipide. L'examen optique de cette substance a conduit à la même conséquence; car en purifiant le produit insipide par des lavages réitérés à l'alcool froid, on obtient pour l'acide un sucre sapide analogue quant à l'aspect au sucre de fécule, éprouvant comme lui la fermentation alcoolique et exerçant comme lui un pouvoir rotatoire de même sens. Il résulte des expériences faites par M. Biot sur les urines de plusieurs diabètes, en suivant la même méthode qu'il avait employée pour découvrir les diverses espèces de sel qui se trouvent dans un liquide, que l'application des caractères optiques propres à chaque sucre peut fournir un diagnostic sûr et d'un emploi facile, pour constater, à un instant donné, l'état diabétique des sécrétions urinaires; avantage précieux pour connaître les diverses phases de cette maladie.

De la rotation des camphres et des huiles essentielles.

Le camphre naturel est celui qui est déposé à l'état solide dans

l'intérieur des tissus de plusieurs laurinées. Les camphres artificiels sont les produits analogues au précédent que l'on obtient dans la combinaison de plusieurs huiles essentielles avec l'acide chlorhydrique, soit en exposant le mélange à l'air libre, soit en abaissant la température.

M. Biot a reconnu qu'une solution de camphre dans l'alcool donne une déviation ↗ de même que le camphre liquéfié par la chaleur, et le nombre $\frac{\alpha}{e\varepsilon\delta}$ est le même dans les deux cas, c'est-à-dire, égal à $\frac{54^\circ,2442}{152}$, le tube étant de 152 millimètres de longueur.

Pour observer le pouvoir rotatoire du camphre solide, on polit les deux faces d'un morceau de camphre et l'on applique sur chacune d'elles une lame de verre. M. Biot a constaté que le rayon transmis donne deux images d'égale intensité dans toutes les positions, ce qui montre qu'il y a de la lumière polarisée dans tous les azimuts, comme dans la lumière naturelle; et que dans le camphre solide les petits cristaux ne sont pas disposés d'une manière confuse comme dans le camphre à l'état liquide, mais qu'ils se rassemblent en groupes distincts individuellement cristallisés, assez épurés pour être biréfringents, mais disposés de manière à présenter leur axe de double réfraction dans tous les sens.

Avec le camphre artificiel provenant de l'essence de térébenthine, on a une rotation ↖ de $-\frac{34^\circ,6637}{152}$ dans un tube de 152 millimètres.

M. de Lalande a trouvé une huile isomère au camphre; ce liquide, qui est volatil, s'obtient en mettant du camphre naturel en contact avec de l'acide sulfurique à 1 at. d'eau, à la température de 100°.

Un tube de 78 millimètres de long, rempli de ce liquide, a donné une déviation de 8° ↗; le liquide était jaune pâle. Dans les mêmes circonstances le camphre eût donné une déviation de 35°,5 ↗.

En dissolvant ensuite proportions égales de camphre et de cette huile successivement dans deux quantités égales d'eau renfermant de la potasse, on a toujours trouvé une rotation ↗ de 11°,25 pour le

camphre, précisément celle trouvée par le calcul. Pour l'huile essentielle on a eu 1°,30, valeur de 0°,64 moindre que celle donnée par le calcul, ce qui prouve que la potasse avait déjà agi sur l'huile; et en effet la dissolution était déjà devenue noir rougeâtre.

Du pouvoir rotatoire de l'acide tartrique.

Nous avons avancé précédemment que toutes les substances qui agissaient sur la lumière polarisée pour faire dévier le plan de polarisation, à l'exception de l'acide tartrique, se comportaient sensiblement suivant les mêmes lois à l'égard des différents rayons colorés, c'est-à-dire que les déviations étaient réciproques aux carrés des longueurs des ondulations de chaque rayon simple. Il s'agit de voir maintenant, en quoi consiste l'exception que présente l'acide tartrique; pour ce corps, la rotation qui est à droite suit une proportion inverse de celle de la réfrangibilité.

Nous donnons les résultats obtenus par M. Biot:

Rotation des plans de polarisation des rayons simples dans une solution d'acide tartrique.

ROUGE.	VIOLET.	ORANGÉ.	INDIGO.	JAUNE.	BLEU.	VERT.
° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″
38—7—11	39—38—3	40—29—14	42—8—55	42—51—29	44—39—47	46—10—37

Cette infraction à la règle que présentent les diverses substances avait fait penser à M. Biot que peut-être dans les autres corps soumis à l'expérience, les lois n'étaient pas identiques à celles que l'on obtient dans le quartz. Il a vu, en effet, qu'il y avait de légères différences, en considérant, par exemple, diverses huiles essentielles; mais pour les observer, il faut opposer des corps de rotation contraire, de manière à neutraliser la rotation des différents rayons simples. Il n'y a donc, pour ainsi dire, que l'acide tartrique qui déroge aux lois de rotation du quartz.

M. Biot a d'abord agi sur des solutions d'acide tartrique dans l'eau; il a trouvé pour ces dissolutions, de même que pour tous les autres corps qui jouissent de la propriété de faire tourner les plans de

polarisation, que la rotation était proportionnelle à la longueur du tube, pourvu que la solution fût toujours la même. En faisant différentes solutions d'acide tartrique dans l'eau, et en concluant le pouvoir rotatoire (α), il a vu que ce pouvoir n'était pas le même, suivant qu'une même portion d'acide était en présence d'une plus grande ou d'une plus petite portion d'eau. Cet acide, à poids égal, exerce une action plus forte à mesure qu'il se trouve en présence d'une plus grande quantité d'eau, et la proportion d'eau fait varier inégalement son action sur les divers rayons simples. Il a conclu de ses expériences que l'acide tartrique et l'eau n'étaient pas en proportions définies, car alors, en supposant n A, n B, n C, les quantités d'eau nécessaires pour saturer les proportions A, B, C d'acide tartrique, les déviations du plan de polarisation devraient être proportionnelles à $(n+1)$ A, $(n+1)$ B, etc., ce qui n'a pas lieu.

Ces observations montrent qu'à mesure que la proportion d'eau augmente, le pouvoir rotatoire augmente aussi de manière à marcher vers une limite constante répondant à une dilution infinie.

En désignant par $[\alpha]$ le pouvoir rotatoire, et par e la proportion pondérable d'eau contenue dans la solution d'acide tartrique, on a la relation

$$[\alpha] = A + B\,e.$$

A et B étant deux constantes dépendantes de la nature du rayon et de la température du liquide, mais de manière que le lieu géométrique ($[\alpha]$ e) représenté par cette équation du premier degré, reste toujours une ligne droite pour une même température et un même rayon.

Pour la température moyenne de 12°, M. Biot a trouvé pour le rayon rouge moyen :

$$[\alpha] = -1{,}17987 + 14{,}3154\ e.$$

Prenant $[\alpha]$ pour ordonnée et e pour abscisse, on peut facilement construire la ligne qui est le lieu géométrique trouvé pour ce cas particulier. On peut discuter ce lieu.

Quand la température change, A varie. Depuis 0 jusqu'à 6°,02, A est négatif; un peu plus loin il est zéro, et ensuite il devient positif. Quant à B, sa variation est presque insensible, il reste à peu près le même pour le même rayon. Nous parlons ici en supposant le rayon rouge moyen

TEMPÉRATURE.	VALEUR DE A.	VALEUR DE B.
+ 26°,08	+ 0,32465	+ 14,3154
+ 12°,68	− 1,17987	+ 14,3154
+ 6°,02	− 2,23511	+ 14,3154

A augmente donc à peu près de 0°,15,829 par degré. M. Biot a aussi recherché comment l'alcool et l'esprit de bois agissent sur l'acide tartrique. Il a trouvé qu'en prenant de l'alcool d'une densité égale à 0,8069, contenant à peine 0,02 d'eau, et en mettant une solution dans laquelle l'acide tartrique entre dans la proportion de 0,15684, dans un tube de 100 millimètres, pour le rayon rouge obtenu avec le verre rouge, on trouve $[\alpha] = + 2,13144$.

Si l'on cherche le pouvoir rotatoire d'une solution aqueuse d'après la formule trouvée plus haut, $\frac{2}{100}$ étant la proportion d'eau, et 5° la température de l'expérience précédente, on a pour la déviation du plan de polarisation

$$- 2,10709;$$

ce qui montre qu'il y a une combinaison de l'acide et de l'alcool.

En cherchant combien il faudrait de proportions d'eau pour produire le même résultat qu'avec l'alcool, on trouve $e = \frac{32}{100}$ d'eau. Or, la solution alcoolique contient $\frac{82}{100}$ d'alcool; on voit donc qu'à poids égal, le pouvoir rotatoire de l'acide est moins augmenté par l'alcool que par l'eau, quoiqu'il soit modifié dans le même sens.

Avec l'esprit de bois on obtient des résultats analogues; seulement on remarque qu'à mesure que la température s'élève, l'angle ou le pouvoir (α) augmente de même qu'en ajoutant de l'eau au mélange.

Nous regrettons de ne pouvoir donner plus d'étendue aux recherches de M. Biot sur l'acide tartrique; mais on peut voir d'après ce rapide exposé des phénomènes de rotation, dont la première découverte remonte à un fait observé par M. Arago, dans le cristal de roche, et qui ont été étudiés avec tant de succès par M. Biot, et par lui appliqués à l'étude de la chimie organique quelles peuvent être les applications de la physique à la chimie moléculaire.

M. Bouchardat a dernièrement soumis à l'action de la lumière polarisée les alcalis végétaux, et reconnu qu'ils dévient le plan de polarisation, les uns à droite, les autres à gauche; d'où il suit que la lumière

polarisée peut servir de moyen d'analyse pour reconnaître la présence des alcalis végétaux dans les dissolutions.

CHAPITRE III.

De la détermination de la constitution lamellaire des corps cristallisés, au moyen des effets qu'éprouve la lumière polarisée en les traversant.

M. Haüy, auquel la cristallographie doit un si grand nombre d'observations importantes, a imaginé une théorie ingénieuse à l'aide de laquelle il fait dériver les formes secondaires d'une substance minérale, d'un noyau primitif sur les faces duquel s'appliquent des rangées de molécules qui vont en décroissant d'après certaines lois, suivant les arêtes ou les diagonales. Il attribue par là une constitution lamellaire aux cristaux. Pour arriver à déterminer cette constitution, M. Biot a cherché si les corps cristallisés qui jouissent de la propriété de polariser la lumière, en raison de leur agrégation moléculaire, n'exerçaient pas aussi quelquefois, sur la lumière polarisée, un autre genre d'action résultant de leur structure lamellaire en couches distinctes dirigées en différents sens. Cette méthode était la seule pour arriver à reconnaître si un cristal n'était pas simple ou un composé de plusieurs autres macles. Pour bien montrer la marche qu'il a suivie, commençons par exposer les effets particuliers produits par les différents systèmes lamellaires, en prenant d'abord pour exemple des cristaux d'alun assez petits pour les considérer dans les premières phases du développement du pouvoir rotatoire.

On fixe dans un tube de métal fermé à chaque extrémité par une lame mince de verre, un cristal octaèdre d'alun aussi pur que possible, de telle manière que l'un de ses axes soit parallèle à celui du tube, puis on remplit ce dernier d'une solution saturée d'alun. On reçoit ensuite un faisceau de lumière polarisée à travers un grand prisme de Nicol, disposé de manière que la transmission immédiate ne soit pas possible; par ce moyen, la glace sur laquelle on a polarisé la lumière par réflexion paraît noire. Or, si l'on interpose sur la route de la lumière polarisée une plaque transparente capable de la

modifier totalement ou en partie, la glace sera plus ou moins visible, excepté dans deux positions rectangulaires, qui sont celles où les plans menés par son axe, perpendiculairement à ses faces, sont respectivement parallèles et perpendiculaires au plan de polarisation.

Si donc l'on amène l'octaèdre dans une de ces positions en tournant convenablement le tube, la glace paraît noire, tandis qu'à droite ou à gauche, les quatre triangles qui forment la projection des faces du cristal s'éclairent d'une teinte blanc-bleuâtre, laquelle croît en intensité, sans changer jusqu'à ce que les plans normaux à ses faces aient tourné de 45°, comme on le voit fig. 10 (Pl. XII). La direction de la flèche MM est celle de la polarisation primitive. En continuant à tourner le tube, l'action de l'octaèdre s'affaiblit par les mêmes périodes et redevient nulle quand la rotation a accompli un cadrant complet, après quoi les mêmes effets se reproduisent. Il résulte que l'effet produit est le même que celui obtenu avec une plaque de béril ou de cristal de roche, dont la section principale coïnciderait avec les plans normaux aux faces latérales, ou leur serait perpendiculaire, faces que M. Biot a appelées sections principales de l'octaèdre d'alun.

Ces effets sont d'autant plus nets que l'octaèdre est plus parfait sous le rapport de sa composition, de sa structure et de sa transparence. Or, comme il est très-rare de trouver toutes ces conditions remplies, il s'ensuit que l'action dépolarisante du cristal ne devient presque jamais nulle dans toutes les parties; de sorte qu'en faisant tourner les sections principales apparentes dans le sens convenable pour l'anéantir dans son ensemble, on aperçoit toujours quelques petits points irrégulièrement disséminés, dont la blancheur est encore sensible, surtout lorsqu'on s'est mis à l'abri de toute lumière diffuse. Ces effets divers sont dus nécessairement à des défauts d'homogénéité dans la cristallisation. Ces différents effets sont encore rendus sensibles à l'aide des vives couleurs produites quand des lames minces de substances douées de la double réfraction sont traversées par un faisceau de lumière polarisée en un sens unique.

En étudiant ce phénomène, M. Biot a reconnu que les lois d'intermittence des couleurs ont également lieu pour des plaques d'épaisseur quelconque, pourvu que les deux rayons, diversement réfractés par elle, ne soient pas sensiblement séparés par leur émergence. *Si donc, on superpose deux plaques exerçant une double réfraction de même espèce, et dont les intermittences d'action sur les rayons d'inégale réfrangibilité s'opèrent par des intervalles soumis à un même rapport de proportionnalité pour*

tous ces rayons, l'effet résultant correspond à la somme ou à la différence de leurs épaisseurs totales, selon que leurs sections principales sont rendues parallèles ou croisées à angle droit, et le résultat inverse a lieu dans les mêmes positions relatives quand les doubles réfractions sont de nature contraire. C'est ainsi qu'avec des lames épaisses on obtient les mêmes séries de teintes qu'avec des lames minces. Si donc l'on veut apprécier la faible action du cristal d'alun, il faut le combiner avec une lame de chaux sulfatée, suffisamment mince pour produire par elle-même des couleurs quand elle est traversée par un rayon polarisé.

Les changements opérés dans la teinte résultante, servent alors à indiquer le sens et la nature de l'action additionnelle. On rend l'influence de la lame plus manifeste en la prenant suffisamment mince pour que sa teinte propre soit modifiée plus rapidement. On remplit parfaitement ce but quand la lame exposée au faisceau polarisé produit dans le prisme analyseur une teinte violet bleuâtre, ou qui en est très-voisine. Passons au mode d'expérimentation. La lame de chaux sulfatée ayant été préparée, on détermine la direction de la section principale, puis on la fixe sur un cadre rectangulaire, de manière que cette section LL, fig. 9, Pl. XII, fasse un angle de 45° avec les côtés du rectangle. En avant du prisme analyseur, se trouve un diaphragme à base horizontale, dont le plan est perpendiculaire au faisceau polarisé; on applique le cadre sur ce diaphragme en posant sur sa base un côté quelconque du rectangle. La section principale de la chaux sulfatée forme alors un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif, et le sens est toujours connu. GG est la glace réfléchissante. AA un tuyau noirci intérieurement. LL la lame mince de chaux sulfatée. PP le prisme analyseur. Le tout est mis à l'abri de la lumière diffuse. Cela fait, on interpose dans le trajet du faisceau, et avant la lame LL, le tube TT qui renferme l'octaèdre d'alun et la solution; on commence par amener une des sections principales de l'octaèdre dans le plan de polarisation primitif en tournant le tube autour de son axe, l'autre section est perpendiculaire à ce plan. Dans cette position, l'action dépolarisante de l'octaèdre est sensiblement nulle, et le serait complétement si le cristal était régulier. La lame de chaux sulfatée conserve alors sa teinte propre, mais elle la perd dans les parties où le faisceau transmis rencontre, dans le cristal, des irrégularités. Au lieu d'une faible lueur blanchâtre caractérisant ces irrégularités, comme dans la première expérience, on observe autant de petites taches brillantes de vert ou de rouge, se détachant sur le fond violet bleuâtre, les-

quelles sont alors sensibles aux yeux les moins exercés. On tourne le tube jusqu'à ce que les sections principales de l'octaèdre fassent un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation. L'une d'elles coïncide alors avec la section principale LL de la lame de chaux sulfatée, et l'autre lui est perpendiculaire. Pendant ce mouvement, la projection carrée de l'octaèdre se partage en quatre triangles égaux, deux verts et deux rouges, disposés comme on le voit fig. 10. Les triangles de même couleur sont opposés par leurs sommets, et leur teinte, presque toujours constante dans le premier cadrant, se change mutuellement dans les autres quand on prolonge la rotation jusque-là. Il en résulte que l'action exercée par le cristal d'alun s'ajoute à celle de la lame dans le double faisceau longitudinal où les triangles verts se forment; elle s'en retranche dans ce même faisceau où se forment les triangles rouges. Dans l'analyse des effets produits, M. Biot a trouvé que chaque faisceau longitudinal, compris entre les plans menés par l'axe et par les arêtes de l'octaèdre, agit comme une lame mince cristallisée, douée de la double réfraction, ayant sa teinte propre exprimée par 3,5, et dont la section principale serait parallèle aux surfaces externes du cristal. Ces phénomènes ont été observés dans tous les octaèdres complets d'alun soumis à l'expérience, depuis le plus gros, dont l'axe avait 42 millimètres de longueur, jusqu'au plus petit, n'ayant pas plus de 1 millimètre d'épaisseur. En enlevant une portion de la masse par une section faite suivant l'axe de vision, le reste continue d'agir comme le cristal primitif. Or, en examinant avec soin la structure intime des petits octaèdres complets, on les trouve formés de couches distinctes plus ou moins continues, régulières, qui s'étendent à chacune des faces externes, comme si le cristal entier s'était accru par l'application successive de couches autour d'un noyau octaédrique primitif. La lumière polarisée qui pénètre dans ces octaèdres dans le sens de leur axe, se trouve soumise aux actions propres de huit lames cristallines ainsi superposées, et, en effet, les modifications qu'elle éprouve ont de l'analogie avec celles que produisent autant de piles formées de lames de verre superposées et séparées les unes des autres par un milieu d'une autre réfringence, tel que l'air. Ces piles, d'après le nombre et l'intermittence de leurs réfractions, enlèvent ainsi au rayon polarisé une partie plus ou moins considérable de la lumière qu'elles polarisent dans un sens déterminé relativement à leur plan de réfraction actuelle. Il paraît que c'est là le seul point de ressemblance, car il doit se produire d'autres effets dépendants de la constitution différente des piles réfringentes et celle d'un

cristal formé de lames juxtaposées à des distances infiniment petites. En considérant les piles naturelles des octaèdres d'alun, comme exerçant autour de leur plan de réfraction actuel un mode de polarisation semblable à celui que les lames minces, douées de la double réfraction, exercent autour de leur section principale, on trouve que les conséquences se soutiennent conformes au phénomène dans tous les arrangements naturels d'après lesquels ces systèmes lamellaires peuvent être associés et dirigés par la cristallisation. On peut voir, dans le Mémoire de M. Biot (1), tous les effets résultant de cette comparaison ; effets que nous ne pouvons malheureusement pas rapporter, en raison des développements dans lesquels nous serions obligés d'entrer. Nous allons seulement passer rapidement en revue les résultats généraux obtenus par M. Biot, dans l'examen optique qu'il a fait de plusieurs substances minérales dérivant, les unes du système cubique ou octaédrique régulier, les autres de tout autre système.

Sel gemme. En appliquant à de gros cristaux le même procédé employé à l'égard des petits octaèdres d'alun, on reconnaît qu'il n'existe pas un fragment de sel gemme ayant une épaisseur de quelques millimètres, qui ne modifie très-sensiblement la lumière polarisée. Les effets produits sont divers et dépendent de causes dont M. Biot a déterminé l'action.

1° Ces effets proviennent quelquefois d'un état général et forcé des masses, comme si elles avaient cristallisé sous une pression extérieure ou à une température élevée suivie d'un refroidissement inégal. On les reproduit artificiellement sur des cristaux tout formés.

2° Quand on incline les parallélipipèdes sur la direction du rayon transmis, de manière à le faire entrer par une de leurs faces et sortir par la face parallèle, après avoir subi intérieurement une ou plusieurs réflexions totales sur les faces transversales, ce rayon éprouve des modifications dues à ce genre d'alternatives, qui atteignent leur maximum d'intensité quand le plan où elles s'opèrent fait un angle de 45° avec le plan de polarisation primitif. On observe des phénomènes analogues dans l'intérieur des masses, quand il s'opère des alternatives analogues de réfraction et de réflexion totale sur les plans de clivage parallèles aux faces du cube primitif. Souvent même ils deviennent complexes par le mélange des deux circonstances qui y concourent ainsi en sens opposés, et qui paraissent agir entre des lames cris-

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, tome XVIII, page 552.

tallisées contiguës, autrement que dans les intermittences brusques. On trouve encore des résultats analogues, sans relation avec les faces externes, ni avec les plans ordinaires de clivage, dans les masses même limpides et sans discontinuité lamellaire apparente, lorsqu'elles contiennent des portions dont les substances cubiques propres ne coïncident pas tout à fait en direction.

Tous ces phénomènes sont accidentels; mais il en est d'autres, sinon plus constants, qui s'opèrent du moins dans certaines directions fixes, attendu qu'ils résultent de l'état lamellaire plus ou moins inégal que le système cubique du sel gemme peut recevoir dans quelques directions. Cette substance a, en effet, une disposition à cristalliser en trémies à pans rectangulaires, dont les tubes constituants sont placés les uns au-dessus des autres en étages, ne se touchant que par une arête. Un arrangement semblable se montre dans certaines parties intérieures des masses de sel gemme; dans ce cas, ces parties semblent composées d'une somme de trémies emboîtées les unes dans les autres, dont les cadres sont quelquefois visibles suivant les deux sens rectangulaires du clivage cubique; d'autres fois suivant un seul. Quand cela arrive, on a deux systèmes lamellaires distincts, dont les plans sont rectangulaires entre eux. Si donc on dirige ces plans selon l'axe de vision, en les tournant à 45° du plan de polarisation primitif, chacun d'eux produit des effets dominants dans son sens propre. Quelquefois il s'opère des phénomènes suivant les plans qui passent par les arêtes pyramidales des séries emboîtées. Enfin tous ces effets peuvent se montrer dans une même masse de sel gemme, surtout quand elle a quelque épaisseur.

Chaux fluatée. Les cristaux de cette substance offrent en général quatre directions de clivage également nettes et faciles. Ils se présentent souvent en masse cubique qu'on peut faire dériver théoriquement de l'octaèdre régulier; mais on ne peut en conclure qu'il en soit toujours ainsi, c'est-à-dire qu'ils dérivent de l'octaèdre par des appositions de lames parallèles aux faces primitives, car on trouve des cubes résultant de l'apposition de petites lames rectangulaires parallèles aux faces du cube. Il était donc important d'étudier, dans les cristaux qui paraissent avoir une constitution différente, les effets de la polarisation lamellaire; c'est ce qu'a fait M. Biot.

Quand on soumet à l'expérience les masses les plus limpides, sans fissures visibles, et formées de systèmes lamellaires, déposées parallèlement aux faces d'un octaèdre, on reconnaît ce système en soumettant les cristaux au mode d'investigation précédemment indiqué;

et quand les phénomènes sont produits, en examinant minutieusement leur constitution intérieure, on y reconnaît des traces de fissures extrêmement fines. En opérant avec des masses de chaux fluatée cubique, outre les phénomènes de polarisation qui leur sont propres et qui s'y montrent toujours avec plus ou moins d'irrégularité, on trouve dans la plupart de ces masses des apparences de couches planes parallèles à leurs faces externes. Ces traces de système lamellaire étant parallèles aux faces des cubes, leur sens d'action propre sur la lumière polarisée est défini par leur direction même; elles ne troublent pas l'état du rayon transmis, et manifestent leur maximum d'effet quand elles forment un angle de 45° avec ce plan. Enfin, en les combinant dans ces positions avec une lame de chaux sulfatée sensible, dont la section principale est dirigée suivant le même angle, un des systèmes modifie la teinte de cette lame par addition, l'autre par différence, et leurs effets s'intervertissent quand leurs situations angulaires sont elles-mêmes interverties rectangulairement. Tels sont les effets qui sont conformes au mode d'action que l'on observe dans les systèmes lamellaires isolés de l'alun.

De l'alun.

L'action qu'éprouve la lumière polarisée en traversant les cristaux de cette substance, montre que les effets ne doivent pas être attribués à une double réfraction moléculaire, mais bien à une action spéciale qu'exercent les lames cristallines superposées, quand les cristaux sont complexes, c'est-à-dire lorsque les systèmes lamellaires générateurs ne sont pas parallèles aux faces de la forme primitive. On peut à l'aide de la lumière polarisée reconnaître la composition lamellaire de ces cristaux, alors même qu'elle est complexe. Pour bien observer cette constitution, on transmet le faisceau polarisé suivant l'axe du cristal perpendiculairement à deux faces basiques. Dans une variété particulière, soumise à l'expérience des faces parallèles aux faces du cube qui étaient nacrées, ainsi que les faces latérales octaédriques, ne laissaient parvenir à l'œil aucun rayon; les premières à cause de leur opacité, les secondes en raison de leur trop grande inclinaison prismatique; la surface de projection illuminée se trouvait par là bornée à la face supérieure octaédrique, et c'était dans ce champ de vision que les systèmes lamellaires, parallèles aux faces latérales, manifestaient leur pouvoir. Voici comment on le conçoit : Les systèmes lamellaires octaédriques, parallèles aux deux bases antérieures et postérieures, ne sauraient trou-

bler la polarisation primitive, étant perpendiculaires aux rayons transmis. A l'égard des systèmes latéraux, le sens de leur action est toujours perpendiculaire à leur plan de réfraction actuel, et ils atteignent leur maximum d'énergie individuelle, quand ce plan fait un angle de 45° avec la direction de la polarisation primitive. On peut donc faire dominer chacun d'eux tour à tour, dans la plage qu'il occupe, en faisant tourner convenablement le cristal sur lui-même dans le plan de ses bases perpendiculairement aux rayons transmis. M. Biot a appliqué le même mode d'investigation pour étudier la constitution lamellaire de plusieurs substances minérales dérivant du cube ou de l'octaèdre régulier, telles que l'ammoniaque muriatée, la magnésie boratée ou boracite, l'amphigène et l'analcime. Il résulte de toutes les observations qu'il a faites, que la propriété que possèdent certains cristaux appartenant au système cubique ou octaédrique régulier d'agir sur la lumière polarisée, ne leur est pas propre et exceptionnelle. Tous ces cristaux n'en sont doués que comme formés d'agrégations de masses d'un volume fini, distribuées en systèmes distincts, avec un ordre régulier d'apposition; aussi en a-t-il tiré un parti avantageux pour déterminer leur constitution lamellaire. Passons aux résultats généraux obtenus en se servant du même mode d'expérimentation, pour étudier la constitution lamellaire des cristaux ne dérivant pas du système cubique ou octaédrique régulier, et prenons pour exemple l'apophyllite, minéral formé de feuillets, se présentant à nous sous la forme de tables carrées à faces parallèles, et en prismes droits à base carrée, modifiés à leur sommet et sur leurs arêtes par des troncatures généralement symétriques autour de leur axe; le clivage de ces cristaux s'opère perpendiculairement à l'axe, en sections transversales d'un aspect nacré, que les faces latérales ne présentent jamais. Suivant Haüy, la forme primitive de l'apophyllite est un prisme droit à base carrée, dont la hauteur est égale aux $\frac{5}{4}$ du côté de la base, afin que les faces secondaires puissent être obtenues par des conditions simples de décroissement. Les effets optiques montrent que ces faces sont produites par un tout autre mode d'application.

Un des caractères spéciaux de l'apophyllite est d'être clivable perpendiculairement à l'axe des prismes. Ce clivage transversal se montre inégalement facile en divers points de la longueur des prismes; il existe souvent, mais non pas toujours, jusque sur des portions plus ou moins étendues des pyramides terminales, avec les mêmes caractères d'aspect et de facilité. Ces pyramides, vues à la loupe, paraissent composées de couches parallèles à leur face externe, comme les

pyramides de l'alun; cette constitution, perceptible à la lumière naturelle, devient plus évidente avec la lumière polarisée, sur laquelle ces différents systèmes lamellaires agissent de la même manière. Tous les effets qui en résultent se trouvent dessinés par des teintes de couleur très-vive, qui suivent les directions de ces systèmes. Mais pour bien voir ces phénomènes dans les petits cristaux d'apophyllite, il faut substituer à l'appareil de la figure 9, un autre dans lequel le pouvoir de la vision naturelle s'est accru, et dont M. Biot a fait également usage pour tous les cristaux de petite dimension. On remplit cette condition en remplaçant le grand prisme de Nicol par un autre prisme qui n'a que 25 millimètres de longueur, et l'on fixe une loupe de même longueur focale au bout dirigé vers l'objet. On tient l'appareil d'une main, on l'applique contre l'œil par le bout nu, et de l'autre main on approche de la loupe le petit cristal fixé au bout d'une tige rectiligne, jusqu'à ce qu'il soit vu distinctement. On fait ensuite cette opération dans un faisceau de lumière polarisée; on dirige le prisme analyseur sur la direction d'un pareil faisceau, réfléchi par une glace horizontale, en le tournant autour de son axe, jusqu'à ce que cette glace paraisse noire. On interpose ensuite le petit cristal dans le trajet des rayons, et on le tourne dans le sens que l'observation indique, comme le plus efficace à manifester son action sur eux, par la restitution de la lumière dans le prisme analyseur. Si l'on veut étudier ce cristal, en combinaison avec une lame de chaux sulfatée sensible, il faut interposer cette lame, soit après, soit avant le petit cristal, en dirigeant sa section principale à 45° du plan primitif de polarisation.

Nous regrettons de ne pouvoir faire connaître toutes les observations curieuses et intéressantes que M. Biot a faites en étudiant les effets de la polarisation lamellaire dans les diverses variétés d'apophyllite qu'il a pu se procurer afin d'arriver à découvrir leur constitution lamellaire. Nous rapporterons seulement les conséquences qu'il a tirées de ses expériences, et qu'il n'a présentées encore que sous forme de questions, à l'égard des substances ne dérivant point du système cubique ou octaédrique régulier.

« Dans les substances cristallines à deux axes optiques qui présentent un système lamellaire bien marqué, également incliné sur ces axes, comme les micas et les topazes, l'angle apparent des axes n'est-il pas sensiblement influencé par l'action propre du système lamellaire combiné avec le pouvoir moléculaire que la forme indique? Ne serait-ce pas pour cela que de telles substances étudiées dans des échantillons de même forme minéralogique et d'une même

composition chimique fondamentale, présentent de si grandes différences dans les grandeurs des angles compris entre leurs axes, conclus de l'observation des anneaux? C'est ce que nous présentent les topazes incolores avec les topazes jaunes, quand on les compare ensemble. Ne serait-ce pas aussi en partie pour cela que les micas à deux axes paraissent, sous ce même rapport, si différents les uns des autres, même dans les cristaux qui se pénètrent? Cette cause enfin n'influe-t-elle pas sensiblement sur la double réfraction apparente, surtout près de ces axes où l'action réellement moléculaire s'affaiblit progressivement jusqu'à s'évanouir?

« Dans les cristaux qui ont un seul axe de double réfraction et où existe un clivage lamellaire perpendiculaire à cet axe, l'action de ce système ne modifie-t-elle pas plus ou moins notablement l'intensité propre du pouvoir moléculaire, accroissant ce pouvoir en apparence quand il est répulsif, et l'affaiblissant quand il est attractif, de manière à en présenter une indication inexacte, quand on le conclut des seuls phénomènes apparents de polarisation, même lorsque de pareilles substances ne peuvent pas être obtenues en cristaux transversalement diaphanes, où l'on puisse observer et mesurer la duplication des images? Si on y trouve un seul axe répulsif, normal à leur base, en le concluant des seuls phénomènes de couleur, ne pourrait-il pas arriver que l'existence de cet axe ne fût qu'apparente, et que les phénomènes qui la simulent fussent uniquement produits par l'action non moléculaire du système lamellaire?

« En résumé, il est prouvé que les systèmes lamellaires constituants des corps cristallisés peuvent développer par eux-mêmes des phénomènes de polarisation indépendants de la double réfraction moléculaire, et capables de se combiner avec des effets analogues que cette dernière produit; on ne doit donc plus considérer les résultats complexes de ces deux genres d'action comme caractéristiques des formes primitives. »

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

Des rapports entre le pouvoir réfringent des corps et leur densité.

Newton est le premier qui ait signalé une certaine relation entre les pouvoirs réfringents des corps diaphanes et leurs propriétés chimiques, relation qui jusqu'à présent n'est soumise à aucune loi bien déterminée. Newton ayant établi une table des indices de réfraction d'un certain nombre de substances, observa que le diamant se trouvait placé à côté des huiles essentielles; il en tira la conséquence que ce corps renfermait un principe combustible; il en fut de même à l'égard de l'eau. Cette connexion entre les pouvoirs réfringents et les propriétés chimiques des corps n'attira l'attention des physiciens que lorsqu'on eut reconnu que le diamant était formé de carbone pur et que l'eau renfermait un principe combustible. Il resta alors prouvé que l'on devait déterminer avec la plus grande précision l'indice de réfraction des corps, afin de pouvoir la comparer, soit avec leur densité, soit avec toute autre propriété physique ou chimique, dans l'espoir d'enchaîner ces propriétés par des rapports simples.

La détermination des indices de réfraction des corps a été le but d'un grand nombre d'expériences; d'abord de Newton, puis de Wollaston, de MM. Brewster, Biot, Arago, Dulong, Young, etc. Différentes méthodes ont été employées pour déterminer les indices de réfraction; nous les avons exposées dans l'introduction.

MM. Arago et Petit, dans un travail publié en 1816, ont fait connaître le résultat d'une série d'expériences sur les puissances réfractives et dispersives des liquides.

Ces résultats démontrèrent que le pouvoir réfringent d'un même liquide n'est pas proportionnel à sa densité, mais diminue un peu avec cette densité; c'est pour ce motif qu'ils opérèrent sur des liquides et des gaz. Ils firent voir aussi que le pouvoir dispersif diminuait avec la densité, et que le pouvoir réfringent $\frac{n^2-1}{d}$, n étant l'indice de réfraction et d la densité, est non-seulement variable pour une même classe de rayons, mais encore que la loi suivant laquelle ce changement s'effectue, est différente pour les rayons différemment colorés.

M. Dulong, dans la détermination qu'il a faite des indices de réfraction des gaz, a vérifié cette loi, déjà mise en évidence par MM. Biot et Arago, que, pour un même fluide, la puissance réfractive est proportionnelle aux variations de densité, loi qui lui a servi à déterminer les indices de réfraction. Il a fait voir en outre que dans les combinaisons gazeuses, la puissance réfractive n'est pas la somme des puissances réfractives des gaz composants, et il en a conclu que l'air n'est pas une combinaison d'azote et d'oxygène, mais un mélange de ces deux gaz, puisque la puissance réfractive de l'air est la somme des puissances réfractives de ses deux principes.

Brewster a indiqué un procédé qui est très-commode pour avoir les indices moyens de réfraction des liquides.

Ce procédé consiste à placer tangentiellement à la lentille d'un microscope une lame de verre plane, et d'interposer entre cette lame et la lentille une goutte du liquide dont on veut mesurer l'indice de réfraction; il se forme au bout de l'objectif une lentille plan concave de liquide qui fait changer la position dans laquelle il faut placer un corps pour que son image se forme toujours au même point. Si l'on désigne par n, n' les indices de réfraction de deux liquides, en passant de l'air dans ces corps, et par D, d, d' les distances auxquelles il faut placer un objet quelconque pour qu'il soit vu dans le microscope, lorsqu'il y a successivement de l'air, et chacun des deux liquides entre la lame plane et l'objectif, distances comptées à partir de l'objectif, on a cette formule

$$\frac{n-1}{n'-1} = \frac{\frac{1}{D} - \frac{1}{d}}{\frac{1}{D} - \frac{1}{d'}} \text{ ou } \frac{n-1}{n'-1} = \frac{1 - \frac{D}{d}}{1 - \frac{D}{d'}}.$$

Cette méthode ne permet d'obtenir que l'indice de réfraction d'un liquide par rapport à un autre.

MM. Edmond Becquerel et A. Cahours ont fait usage de ce procédé en cherchant au lieu des distances D, d, d', les nombres P, p, p' de division d'un micromètre placé sur le porte-objet, et qui sont compris entre deux raies fixes d'un micromètre au foyer de l'oculaire. Ces nombres étant proportionnels aux précédents, on a encore :

$$\frac{n-1}{n'-1} = \frac{1 - \frac{P}{p}}{1 - \frac{P}{p'}};$$

et ils ont l'avantage de pouvoir être observés avec plus d'exactitude.

Le liquide auquel ils ont rapporté les indices de réfraction est l'eau distillée, et le nombre adopté est $n = \frac{4}{3} = 1,3333$ pour l'indice moyen de ce corps.

Ce nombre peut être déterminé directement en interposant entre l'objectif d'un microscope et l'objet que l'on regarde, un écran liquide à faces parallèles. Alors, il faut abaisser l'objet pour continuer à le voir dans le microscope; car les rayons lumineux, quoique ressortant parallèles, après avoir traversé l'écran, éprouvent une déviation de leur direction primitive; en désignant donc par e l'épaisseur de l'écran et par d la quantité dont on a éloigné l'objet de sa position primitive, on a

$$d = e\left(\frac{n-1}{n}\right),$$

n étant l'indice de réfraction.

En appliquant cette méthode à l'eau distillée, on trouve que e étant égal à 10^{mm}, on a

$$d = 2^{mm}.502$$

On a donc

$$\frac{n-1}{n} = 0,2502, \text{ d'où } n = 1,3336,$$

c'est-à-dire $n = \frac{4}{3}$; la différence 0,0003 étant ici insignifiante.

Nous donnons le tableau des différents nombres obtenus à l'aide du premier procédé que nous avons indiqué.

Tableau des indices moyens.

P (air)... 20,8 } on admet pour l'indice de l'eau..... $n = 1,3333$ ou $\frac{4}{3}$
p (eau)... 34,33 }

NOMS des SUBSTANCES.	NOMBRES p'	INDICES.	NOMS des SUBSTANCES.	NOMBRES p	INDICES.
Essence de térébenthine.	47	1,471	Éther citrique.....	44	1,446
— de citron.....	47,5	1,475	— pyrocitrique.....	44	1,446
— d'élémi.....	47,5	1,475	— camphorique.....	45,5	1,459
— de genièvre.....	47,5	1,475	— cuminique.....	51,5	1,504
Térébène.....	48	1,479	— benzoïque.....	52,5	1,511
Térébilène.....	48	1,479	Acétate de méthylène...	36,33	1,361
Essence de cubèbe.....	49,5	1,490	Éther formique (*).....	36,33	1,361
Colophène.....	53,5	1,517	Hydrate de benzoïle...	58,5	1,545
Colophilène.....	53,5	1,517	Hydrure de salicyle....	65	1,570
Eupione.....	40,33	1,409	Alcool absolu.....	36,33	1,361
Cétène.....	45	1,463	Acide acétique cristallisé	37,5	1,376
Benzène.....	51,5	1,504	Essence de térébenthine.	47	1,471
Cinnamène.....	56	1,531	Chlorhydrate d'essence liquide.....	49	1,488
Rétinolène.....	65,5	1,577	Bromhydrate d'essence liquide.....	52,5	1,510
Cymène.....	48,75	1,485	Monochlorotérébène ...	55,53	1,531
Naphte.....	40,33	1,409	Chlorure d'essence.....	57,5	1,540
Retinolène.....	53,5	1,517			
Retinnaphtène.....	51	1,500			
Naphtole.....	45,3	1,467			
Carbure d'hydrogène de l'acide éthalique.....	44,5	1,450	Acide valérique.....	39,8	1,406
			— chlorovalérisique..	50,5	1,497
			— chlorovalérosique...	52,5	1,510
Éther.....	36	1,357	Benzène.....	51,5	1,504
— hydrobromique	41	1,417	Nitrobenzide	60,33	1,554
— hydriodique.....	52,75	1,512			
— formique.....	36,33	1,361	Hydrocarbure de chlore.	44	1,446
— acétique	37	1,370	— de brome.....	56,5	1,534
— oxalique.....	39,75	1,406	Acétone.....	37,5	1,376
— œnanthique.....	42	1,427	Acétate d'amylène.....	39,75	1,406
			Huile de girofle.....	51,5	1,504

Il résulte de l'examen de ce tableau,

1° Que les corps de même composition et dont la densité à l'état liquide est représentée par des nombres peu différents, possèdent un indice de réfraction qui varie dans de très-faibles limites, tandis que celui-ci s'accroît avec l'état de condensation de la substance (exemple : essence de térébenthine et colophène).

2° Que les carbures d'hydrogène liquide à densité presque égale ont un pouvoir réfringent d'autant plus considérable que le carbone s'y accumule davantage. Ainsi le retynolène (C^{64} H^{32}) possède un indice de réfraction moyen plus grand que le cétène (C^{64} H^{64}) qui contient beaucoup moins de carbone que lui et dont la densité à l'état liquide est peu différente.

3° Que pour les liquides formés de carbone et d'oxygène, l'indice de réfraction et le pouvoir réfringent sont d'autant plus considérables que la substance est moins oxygénée, pourvu toutefois que la densité de ces corps soit peu différente; mais si la densité varie dans des limites très-sensibles, alors le contraire peut avoir lieu; ce qui démontre évidemment que la densité du corps à l'état liquide est un élément qui a une grande influence. Ainsi l'éther cuminique, qui renferme moins d'oxygène pour 100 que l'éther benzoïque, possède un indice de réfraction moindre; mais aussi la densité du premier est moindre que celle de l'eau, tandis que la densité du second est plus considérable. Une observation semblable peut être faite à l'égard des éthers acétique et oxalique.

4° Que pour les corps isomères, tels que l'acétate de métylène et l'éther formique, qui possèdent en outre une densité presque identique à l'état liquide, les indices de réfraction sont aussi identiques.

5° Qu'à mesure que le chlore, le brome ou iode s'accumulent dans les corps d'une même famille, l'indice de réfraction s'accroît, ce qui tient peut-être à l'augmentation de densité de ces corps à l'état liquide.

6° Enfin, qu'il existe un autre élément dont l'intervention peut avoir une influence très-marquée sur l'indice de réfraction : c'est la viscosité de la substance. C'est ce qui résulte aussi des observations de M. Deville sur les acides chlorovalérisique et chlorovalérosique.

MM. Ed. Becquerel et Cahours ont recherché si dans un mélange de liquides qui sont sans action chimique l'un sur l'autre, le pouvoir réfringent du mélange était égal à la somme des pouvoirs réfringents des liquides qui le constituent. Cette loi leur a paru être sensiblement vraie dans les expériences qu'ils ont faites.

Les recherches relatives au rapport existant entre les pouvoirs ré-

fringents des corps et plusieurs de leurs propriétés physiques sont d'nne certaine importance pour l'étude de la constitution moléculaire des corps, et doivent se trouver dans l'ouvrage que nous publions. Il reste à étendre les expériences dont les résultats ont été exposés à des liquides dont la composition est parfaitement établie, et en outre les pouvoirs dispersifs de tous ces liquides; il s'agit encore de déterminer les variations qu'éprouvent les pouvoirs réfringents et dispersifs des liquides dans l'acte de la combinaison. Toutes les recherches relatives à ce sujet ne peuvent manquer d'intéresser les sciences physico-chimiques.

CHAPITRE V.

Des images produites par l'influence des corps les uns sur les autres.

Les phénomènes dont nous allons parler ne sont pas relatifs à la lumière; mais comme ils ont été découverts en étudiant son action chimique, et qu'ils n'ont pas encore été classés en physique, nous avons cru devoir en parler ici.

On sait que lorsqu'on trace des caractères avec différentes matières sur du verre poli, dont on essuie ensuite la surface, les caractères reparaissent en insufflant dessus de la vapeur d'eau. M. Möser, en répétant cette expérience, a reconnu que ce fait peut être étendu non-seulement à la vapeur d'eau, mais encore à celle de mercure, et autres, qui peuvent adhérer aux corps; ces vapeurs se condensent non-seulement sur les parties où sont tracés des caractères, mais encore sur celles touchées d'une surface polie quelconque. M. Möser est parti de là pour établir ce fait : *Lorsqu'une surface a été en contact, en quelques points, avec un autre corps quelconque, elle acquiert, en ces points, la propriété de condenser toutes les vapeurs qui peuvent adhérer ou se combiner avec elle d'une manière différente que le reste de la surface.*

Ainsi, lorsqu'on pose pendant quelque temps, sur nne plaque d'argent poli, une plaque gravée quelconque, puis qu'on expose la première à la vapeur d'iode, on voit une image des dessins faits sur la plaque gravée; ou bien si on prend une plaque d'argent iodée et qu'on mette la plan-

che gravée sur sa surface, après quelque temps, en exposant cette plaque à la vapeur de mercure, le dessin de la gravure paraît avec netteté sur la plaque.

La chaleur, ou du moins une différence de température, active la formation d'une image : M. Knorr a annoncé en avoir même produit par la seule différence de température, sans condensation de vapeur. M. Möser a été plus loin : il a reconnu qu'il n'y avait pas besoin que le contact eût lieu pour qu'un corps imprimât son image sur une surface polie, qu'il suffisait que ces objets fussent suffisamment voisins l'un de l'autre. Ainsi, lorsqu'on place parallèlement à une surface métallique polie, d'argent par exemple, une plaque gravée ou un autre objet, si la distance est d'une fraction de ligne, au bout de quelque temps on peut rendre manifeste sur la plaque d'argent la modification qu'elle a reçue par la présence de l'autre corps, en faisant naître l'image produite à l'aide de la vapeur de mercure ou d'iode. Ainsi, il a été conduit à cette observation que : *Lorsque deux corps sont suffisamment rapprochés, ils impriment leur image l'un sur l'autre, sans qu'il y ait contact entre eux.* Ces effets sont produits soit à la lumière, soit à l'obscurité profonde. M. Möser, pour les expliquer, a admis qu'il existe une espèce de rayonnement invisible, provenant de ce que les corps *doivent être considérés comme lumineux par eux-mêmes, ou du moins comme émettant des rayons qui n'agissent pas sur la rétine.* Ce serait donc un rayonnement qui agirait pour imprimer l'image d'un corps sur une surface polie placée à peu de distance ; mais il faudrait pour cela que ce rayonnement diminuât beaucoup d'intensité avec l'obliquité, de manière à n'être bien sensible qu'en sortant normalement de la surface. M. Möser, à l'appui de cette manière de voir, a cité des faits qui montrent qu'à travers des lames de mica de $\frac{1}{5}$ de ligne d'épaisseur, un corps peut transmettre son image sur une surface polie. Il s'agit maintenant de savoir si les effets observés sont dus à un rayonnement insensible, comme l'admet M. Möser, ou bien s'ils ne seraient pas plutôt le résultat d'un dépôt de matières grasses qui, en se volatilisant, couvriraient les surfaces polies, empêcheraient que le dépôt de vapeur fût partout égal, et d'où résulterait la représentation de l'objet.

Les expériences faites dans le but de transmettre les images à travers des lames de substances solides, peuvent servir à savoir s'il existe ou non un rayonnement. L'alternative résolue, on pourrait douter encore si les effets produits sont dus à un rayonnement particulier ou à l'échange de rayonnements calorifiques, s'opérant constamment d'un corps à un autre.

M. Fizeau a cherché, contrairement à l'opinion de M. Möser, à démontrer que tous ces effets sont étrangers à toute espèce de radiation, et qu'ils sont dus à la présence de matières grasses et volatiles qui souillent la plupart des corps. Il a aussi montré que la propriété de former des images sur une surface polie n'est pas permanente dans les corps; car lorsqu'on cherche à obtenir un grand nombre d'images, elle s'affaiblit peu à peu et devient presque nulle après un certain nombre d'épreuves. Cependant son pouvoir une fois affaibli, on le rend instantanément en passant légèrement les doigts dessus l'objet, ou en frottant sa surface avec les poils d'un animal vivant, qui sont imprégnés, comme on le sait, de matières organiques. L'élévation de température d'un objet favorise aussi la formation de son image sur une surface polie.

Enfin M. Fizeau, en interposant une lame très-mince de mica entre le corps formant image et la surface polie, a constamment trouvé que l'action était nulle. Cependant lorsqu'une même lame de mica, servant dans deux expériences consécutives, est placée ensuite dans une position inverse de celle qu'elle occupait la première fois, la surface de mica produira une image secondaire qui peut être distinguée de l'image directe du corps en ce qu'elle en est une représentation symétrique, tandis que l'image secondaire, symétrique par rapport à la précédente, en est une représentation identique. M. Fizeau n'ayant pas trouvé d'action à travers le mica, et M. Möser ayant annoncé en avoir observé une, on ne peut donc encore se prononcer sur la cause de ces phénomènes; mais il est probable que les matières grasses qui sont à la surface des corps jouent un grand rôle pour leur production. On a voulu aussi attribuer à l'électricité la production de ces phénomènes; mais, jusqu'ici, rien n'autorise à leur donner cette origine. De nouvelles recherches sont donc nécessaires pour connaître quelle peut en être la cause. Jusque-là cette classe de phénomènes aura une place à part en physique.

Digitized by Google

LIVRE VIII.

INTERVENTION DES FORCES PHYSIQUES DANS LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

Des végétaux.

Les corps organisés, comme ceux qui ne le sont pas, sont soumis à l'action de forces physiques et chimiques, qui modifient plus ou moins les phénomènes de la vie, quand l'une de ces forces éprouve une variation quelconque. Nous avons déjà vu l'influence qu'exerçaient la capillarité et l'endosmose, il s'agit maintenant de montrer comment les autres forces physiques, telles que la pesanteur, la chaleur, la lumière et l'électricité, interviennent pour concourir, soit isolément, soit concurremment avec l'action vitale, à la production des phénomènes physiologiques. Nous commencerons par les végétaux, qui, en raison d'une constitution plus simple que celle des animaux, se prêtent d'autant mieux à nos investigations, que la volonté n'est plus là pour dominer l'action des forces physiques.

Si l'on examine alternativement un végétal, on le trouve composé d'un système de tubes ou vaisseaux dont une partie se termine en racines et l'autre s'épanouit en feuilles; c'est en vertu de l'action propre des tissus qui forment en quelque sorte les éléments du végétal et des effets d'endosmose et d'exosmose, que la séve lymphatique prise au sol s'élève dans ces tubes ou vaisseaux; qu'elle y est élaborée, de manière à produire des éléments dont les uns s'identifient avec le végétal, et dont les autres sont expulsés par voie de transpiration ou d'exsudation.

Après avoir subi une première élaboration dans les tiges du végétal, la séve parvient dans les feuilles où elle reçoit sa dernière modi-

fication sous l'influence de la chaleur, de la lumière, de l'air et peut-être de l'électricité ; elle redescend ensuite, pénètre dans l'écorce et se résout en une matière organisée. Toutes les forces de la nature, que nous n'avons indiquées que d'une manière générale, concourent donc probablement aux élaborations qui s'opèrent continuellement dans les végétaux, car les forces chimiques interviennent également pour produire l'amidon, le gluten, les mucilages, la gomme et autres analogues ; ainsi que la pesanteur, à l'action de laquelle sont soumis tous les corps qui se trouvent sur notre globe.

La pesanteur est cette force en vertu de laquelle un corps étant lancé dans l'air, tombe attiré par la terre; c'est elle qui maintient les diverses parties qui composent cette dernière, dans leur position respective. Son action s'exerce proportionnellement à la quantité de matières contenues dans les corps et en raison inverse du carré de leur distance. Il résulte des lois mathématiques et de la forme de la terre, que le corps, en tombant, suit une ligne droite dont la direction est perpendiculaire à la surface d'une nappe d'eau dont toutes les parties seraient en équilibre, c'est-à-dire suivraient la verticale, laquelle étant prolongée, passerait par le centre de la terre. Si ce même corps tombe auprès d'une montagne, il est dévié de la verticale en vertu de l'action exercée par celle-là. Voilà ce que l'on nomme l'influence des masses.

La gravitation exerce une action très-remarquable sur l'accroissement des plantes et par suite sur leur direction, car lorsque aucune cause étrangère ne vient se joindre à cette action, la direction du végéta- est toujours verticale.

Les racines tendent à descendre et les tiges à monter avec plus ou moins d'intensité, suivant diverses causes dont nous ne nous occuperons pas. Cette tendance qui se manifeste dès que la plante commence à naître, et qui se conserve pendant toute la durée de sa vie, doit être rapportée à la pesanteur. Les expériences que nous allons rapporter ne laissent aucun doute à cet égard. Si l'on change la position d'une plante et que l'on aille même jusqu'à la renverser, les racines se contournent pour reprendre la direction verticale qui leur est propre. On a beau varier la position, les organes reprennent toujours celle qui leur convient, et la plante périt plutôt que de se soumettre au nouveau régime que l'on veut lui imposer. Ce qui se passe pour la plante en général, a lieu pour une de ses parties quelconques, branches ou racines. Il y a donc une force incessante agissant pour forcer toutes ces parties à prendre la direction verticale.

Hunter, le premier, s'occupa de rechercher l'influence exercée

par la pesanteur sur la direction des racines et de la plantule, pendant les premiers temps du développement de la jeune plante. Il fit germer à cet effet des graines dans l'axe horizontal d'un baril auquel il imprima un mouvement continuel de rotation. La germination eut lieu, et la plante se dirigea suivant l'axe de rotation; la direction s'écartait plus ou moins de la verticale, suivant que le baril était plus ou moins incliné à l'horizon. Hunter ne tira aucune induction de ce fait remarquable. Il était réservé à Knight de montrer que cet effet était dû à ce que l'action de la pesanteur avait été détruite par la force centrifuge résultant du mouvement de rotation du baril.

Il fit construire une roue de onze pouces de diamètre (mesure anglaise), qu'il pouvait placer successivement verticalement ou horizontalement, et qui était mue par une roue d'angle et un système de rouages mis en mouvement par une chute d'eau. A la circonférence de ces roues étaient adaptées des augettes susceptibles de recevoir de la mousse ou du coton maintenu par des fils transversaux, et dans lesquelles il plaça des graines. L'appareil était en outre construit de manière à ce que l'eau motrice arrosât en même temps. Le nombre des révolutions pouvait se régler à volonté et avoir une vitesse de 150 tours par minute. La germination se développa comme d'habitude, mais avec cette différence que la direction des racines et des tiges dépendait de l'inclinaison de la roue par rapport à l'horizon, et de la vitesse de rotation.

Voici les principaux résultats obtenus dans une expérience faite sur des fèves.

1° Quand la roue était horizontale et la vitesse de 150 tours par minute, toutes les racines se dirigeaient vers le bas et les tiges vers le haut. La direction de la jeune plante faisait un angle de 10° avec le plan horizontal. Cette déclinaison était de 45°, quand la vitesse de rotation n'était plus que de 80 révolutions par minute. Ainsi, dans ce second cas, la force centrifuge étant moins forte, la pesanteur devenait prépondérante.

2° Quand la roue était verticale, toutes les radicules étaient dirigées vers la circonférence et les plumules vers le centre de la roue. Dans ce cas-ci, la force centrifuge était supérieure à la force de gravitation, ce que Knight supposait avoir lieu avec une vitesse de 150 tours par minute; les plantes croissaient en faisant un angle presque droit avec l'axe, quand la vitesse était moindre; la pesanteur reprenait son influence, de sorte que les tiges étaient plus ou moins inclinées à l'horizon.

Il est démontré bien évidemment que la différence existant entre une graine germant en terre et une autre germant dans une roue horizontale soumise à un mouvement de rotation, vient de ce que, dans le premier cas, la graine est soumise à la seule action de la pesanteur; tandis que dans le second, elle est soumise à celle de la force centrifuge, moindre, égale, plus grande que la pesanteur. On doit donc avoir des effets dus à la résultante de ces deux forces concomitantes, qui devra varier naturellement avec la vitesse de rotation de la roue. En examinant avec soin les diverses phases du phénomène, il ne peut rester aucun doute dans l'esprit, que la gravitation ne soit la cause immédiate de la direction que suivent les tiges et les racines, lorsque aucune cause perturbatrice ne vient troubler l'action de la pesanteur. Les faits précédents conduisent à l'examen de cette question.

M. Dutrochet a répété avec succès les expériences de Knight, sur des graines de pois et de vesces, en faisant usage d'un mouvement d'horlogerie, semblable à un tourne-broche que l'on remontait de douze en douze heures. Outre les faits précédemment énoncés, il a encore observé les suivants :

Lorsqu'une graine en germination est au centre d'une roue verticale et tourne ainsi sur elle-même, ou bien lorsqu'elle est placée à la circonférence d'une roue verticale dont la rotation est lente, et que dans l'une et l'autre circonstance l'axe de rotation est incliné même d'une manière peu sensible, la radicule de la graine située sur l'axe se dirige vers la partie descendante de cet axe et la tige vers sa partie ascendante; la radicule et la plumule de la graine située à la circonférence prennent une direction parallèle à l'axe; la première dans le sens de la descente de cet axe, et la seconde dans celui de son ascension. Ces directions spéciales sont opérées par l'influence de la pesanteur, parce que la force centrifuge est nulle.

Lorsque la graine en germination est située soit au centre, soit à la circonférence d'une roue verticale dont l'axe est horizontal et dont la rotation est inégale, les radicules se dirigent toutes parallèlement à celui des rayons de cette roue dont l'extrémité de la circonférence est en bas au moment de la plus grande lenteur de rotation. Les plumules prennent toutes la direction inverse.

Comment une même force agissant sans cesse dans la même direction peut-elle obliger les tiges à monter et les racines à descendre ?

Il est certain que par la nécessité où elles sont de trouver de l'hu-

midité et un point d'appui, les racines doivent chercher la terre ; de même les feuilles doivent chercher l'air par le besoin où elles sont de s'emparer de son oxygène pendant la nuit ; mais néanmoins la gravitation semble être la seule force à laquelle on doive rapporter la direction des plantes. En effet, cette force a une action universelle, la seule qui tende à imprimer à toutes les parties une direction uniforme. Mais comment se fait-il que dans l'expérience précitée de la roue horizontale, les tiges se portent vers l'axe de rotation et les racines dans le sens opposé ? ,ici les racines n'ont plus à chercher dans la terre de l'eau et un point d'appui ; elles obéissent à l'action seule de la force centrifuge. Or, en vertu de cette action, les parties les plus pesantes sont chassées le plus loin, comme le prouve l'expérience très-simple que l'on fait dans les cours de physique. On serait donc conduit par l'induction à admettre que les parties constituantes du tronc et des racines sont plus pesantes que celles des branches et des feuilles. Arrêtons-nous là, dans la crainte d'être conduit à des conséquences que ne justifierait pas suffisamment l'expérience.

CHAPITRE II.

Influence de la chaleur sur la végétation.

Dans l'acte de la végétation, la chaleur est considérée comme un excitant, car elle active les élaborations qui s'opèrent dans les cellules; elle agit encore comme force mécanique en excitant la succion de l'eau et les phénomènes de contractilité. Mais ce sont là des questions de physiologie végétale d'une nature très-complexe dont nous n'avons pas à nous occuper; nous nous attacherons seulement à des phénomènes simples dont l'étude est abordable au physicien, tels que ceux qui concernent la germination.

On sait qu'une graine humectée convenablement, soumise à un degré de chaleur suffisant, se gonfle par un effet d'endosmose, puis rompt son tégument; la radicule, sortie par la fissure, se dirige vers la terre, tandis que la plumule s'élève et étale ses cotylédons, qui se dessèchent aussitôt que les feuilles primordiales sont assez développées pour nourrir la jeune plante. Voyons de quelle manière la chaleur intervient dans ce premier acte de la vie végétale.

Toute germination cesse à une température très-voisine de zéro. Des graines exposées à une température aussi basse que celle des régions septentrionales, n'éprouvent pas dans leur intérieur un désordre tel qu'elles ne puissent germer au retour de la belle saison. Il était bon cependant de rechercher le degré de froid que pouvaient supporter les graines, sans être altérées; c'est ce qu'ont fait MM. Edwards et Colin, qui ont exposé des graines de blé, d'orge, de fèves, à la température de la congélation du mercure pendant 15 minutes. Ces graines ont pu germer ensuite, comme si elles n'avaient pas été soumises à cette rude épreuve. Mais si un grand froid ne détruit pas la germination, en est-il de même d'une température élevée? Posons des limites. Nous savons que sous la zone torride, dans des circonstances favorables à la germination, la végétation est des plus vigoureuses. D'un autre côté, à près de 75° de température, les globules de la fécule qui composent la graine, éclatent. Dès lors on doit considérer ce point comme la limite de température où la germination puisse se développer. Au delà, il y a un tel désordre, que l'action vitale ne saurait s'exercer. L'expérience a confirmé cette conséquence.

En effet, on a trouvé que des graines de céréales et de légumineuses exposées pendant 15 minutes à une température de 75° centig. perdent la faculté de germer; quelquefois cependant, les fèves résistent à cette température. Des grains de blé, d'orge, de lin, des haricots ne germent plus quand on les a exposés à une température de 62°. Il faut descendre jusqu'à 50° pour voir la germination se développer dans quelques graines; pour l'orge, les haricots, le lin, il faut aller au-dessous; les effets de la chaleur varient suivant que les graines sont exposées à un air humide ou sec. A 75° et même 62°, l'eau ainsi que sa vapeur enlèvent aux graines la faculté de germer. Une immersion dans l'eau à 62° enlève cette propriété à certaines graines, tandis qu'elles la conservent dans la vapeur à la même température. Il semble donc que la limite de la germination dans la vapeur soit plus reculée que dans l'eau chaude. Dans l'air sec, cette limite se trouve encore dépassée, puisqu'elle arrive jusqu'à 75°: le blé, le seigle, l'orge, le lin, présentent ce phénomène. Cette différence dans le mode d'action de l'eau à l'état liquide, de vapeur, et à l'air sec, provient probablement de ce que la chaleur ne se propage pas de la même manière dans ces trois cas. Il pourrait se faire cependant que l'eau intervînt dans le jeu des affinités. Ce qu'il y a de certain, c'est que l'enveloppe de la graine oppose une résistance à l'air sec; ce qui n'a pas lieu pour la vapeur et particulièrement pour l'eau. Si l'on

abaisse la limite de température en opérant sur l'eau, et que l'on prolonge la durée de son action, toutes choses égales d'ailleurs, on détruit la faculté de germer.

10 grains de blé, 10 de seigle et 10 d'orge, placés sur de l'eau pendant 3 jours, à une température de 35° centigr., ont présenté les effets suivants : 3 grains de blé, 3 de seigle ont germé; ainsi les $\frac{4}{5}$ du blé ont manqué, et les grains d'orge entièrement. Dans du sable, avec le blé d'hiver, le blé de mars, l'orge et l'avoine, et dans les circonstances où il y a moins d'eau, on a reconnu qu'à 40°, l'orge et l'avoine ont germé; à 45°, beaucoup de graines n'ont pas levé et d'autres ont avorté. La température de 45° doit donc être considérée comme une limite de la germination dans le sable humide. On ne peut établir aucune relation entre la température du sol et celle de l'air, attendu que les corps s'échauffent très-inégalement aux rayons du soleil, et que les terres s'y échauffent beaucoup plus. On a encore fait très-peu de recherches à cet égard; et cependant elles seraient d'un grand intérêt pour la germination. M. Boussingault, qui a fait quelques expériences dans l'Amérique du Sud, a reconnu que la température du sol recouvert d'herbes sèches montait jusqu'à 45 et même 48°. M. de Humboldt a observé que, sous les tropiques, la surface du sol s'échauffe pendant le jour par irradiation jusqu'à 52°. Près des cataractes de l'Orénoque, il a trouvé le sable granitique à gros grains ayant une température de 60°, 3, tandis que celle de l'air à l'ombre était de 29°, 6.

M. Arago, dans des observations sur l'irradiation du sable pendant les grandes chaleurs de l'été, a trouvé que le plus souvent la température montait à 48 ou 50°, tandis que celle de l'air à l'ombre n'était que de 33°.

MM. Edwards et Colin ont fait une expérience pour savoir si la terre humide, en raison de l'évaporation, pouvait atteindre aux rayons du soleil la température de 48°; et à cet effet, ils ont placé devant un foyer de chaleur deux verres égaux remplis, l'un de sable sec, l'autre de sable humide. Des thermomètres placés au centre de ces sables, jusqu'à la limite de 50°, ont présenté des différences qui ne dépassaient pas 2 à 3°; il résulte de ce fait, qu'il doit y avoir des régions trop chaudes pour que les céréales puissent y venir. Dans les régions des Cordillères, depuis les bords de la mer jusqu'à une hauteur où toute végétation cesse, ils ont reconnu qu'entre les limites de température moyenne de 16 à 18°, le blé ne venait pas; or, si le sol suffisamment imprégné d'humidité s'élevait à la température de 45 à

48°, comme M. Boussingault l'a reconnu, les graines ne devaient pas germer.

On a vu que les graines diffèrent quant à la limite de chaleur qu'elles peuvent supporter dans la germination, et qui, par exemple, est plus élevée pour le seigle, moins pour le blé et moins encore pour l'orge. Quant au maïs, c'est de toutes les céréales celle qui germe à la plus haute température, sur l'eau à 45°, c'est-à-dire, 10° de plus que le blé dans les mêmes circonstances. Ainsi, l'ordre des limites de chaleur où la germination cesse d'avoir lieu, en commençant par la plus basse, est l'orge, le blé, le seigle et le maïs. M. Boussingault a confirmé ces résultats par l'observation, puisque l'orge ne vient pas dans une zone moins chaude que le blé, que celui-ci ne réussit pas dans une température moyenne s'élevant jusqu'à 26°.

Nous croyons intéressant de faire connaître ici les climats trop chauds pour que nos céréales puissent y germer, croître et mûrir, afin de voir jusqu'à quel point les expériences de laboraoire sont d'accord avec l'observation.

MM. Edwards et Colin ont pris du blé d'hiver et du blé d'été différant en poids et en volume. Les grains du premier étant plus lourds, ils semèrent comparativement 530 grains de chacun d'eux, à la fin d'avril, afin que la chaleur fût plus marquée. La germination se développa sans particularité. Les jeunes plantes continuèrent à croître; mais le blé d'hiver ne prit pas son développement ordinaire, puisqu'il ne présenta que la végétation herbacée; la plante avait beaucoup talé. Il n'en fut pas de même du blé d'été qui montra toutes les phases connues de sa végétation. Les tiges droites parurent rapidement et produisirent des épis à l'époque ordinaire; d'où il paraît résulter que le blé d'hiver ne peut réussir dans les régions où la température est égale à celle de nos climats, du mois de mars au mois de juillet.

Pour mieux juger des effets de la température et voir si le blé d'été éprouverait les mêmes effets que celui d'hiver, en développant la germination dans un temps plus chaud, des semis furent faits dans les premiers jours de juillet. La germination et les autres phases de la végétation se développèrent comme de coutume, mais seulement une végétation herbacée sans tige ni épis, jusqu'à ce que la température fût abaissée, c'est-à-dire, après le mois d'août. A cette époque, les tiges commencèrent à paraître, et la nature du sol n'apporta aucun changement dans les effets produits. De semblables expériences furent faites sur l'orge et le seigle, et donnèrent les mêmes résultats.

On peut inférer de tout ceci, que la température que MM. Edwards

et Colin ont constatée comme formant la limite de chaleur à laquelle nos principales céréales ne peuvent se développer d'une manière normale, est de 18°, 23 centig., température moyenne du mois de mai de l'année 1834; ce qui s'accorde parfaitement avec celle de 18 à 19° centig. de température moyenne que M. de Humboldt a assignée aux climats tempérés les plus favorables à la culture de nos céréales, le froment, l'épeautre, l'orge, l'avoine et le seigle; accord qui n'est pas moins remarquable avec la limite de 18° 30 que M. Boussingault a observée pour le blé et l'orge dans les Cordillères.

On a vu précédemment que l'effet ou plutôt l'influence d'une grande chaleur sur les céréales était de les faire monter en tige, de sorte qu'elles restent toujours en herbe; c'est ce qui arrive aux environs de Xalapa, comme M. de Humboldt l'a observé. Cette végétation herbacée est vigoureuse et fournit une excellente pâture aux bestiaux.

De plus amples développements touchant l'influence de la chaleur dans l'acte de la végétation nous forceraient de nous jeter dans des détails physiologiques qui ne sont pas de notre ressort.

CHAPITRE III.

Action de la lumière sur les végétaux.

La lumière agit comme excitant sur les végétaux, soit en donnant aux tissus cellulaires la propriété de décomposer le gaz acide carbonique, soit en déterminant l'exhalaison aqueuse par toutes leurs parties vertes, et imprimant certains mouvements à leurs organes. Son action se fait sentir sur l'ascension de la séve, plus grande le jour que la nuit, ainsi que sur la floraison de certaines plantes. Quant à la germination, son influence est nulle et souvent même nuisible; elle se comporte donc comme force chimique et comme force physique. L'étude de la lumière sur la végétation appartient donc en partie aux sciences physico-chimiques, quoiqu'elle soit entièrement du domaine de la physiologie végétale. Le physicien ne doit s'attacher qu'aux faits dont l'examen réclame son concours. C'est sous ce point de vue que nous envisagerons cette question.

On démontre l'influence de la lumière sur la succion, en prenant

trois plantes de même espèce, munies de feuilles de même grandeur et de même force, et en mettant chacune dans un vase ; l'une est placée à l'obscurité, l'autre à la lumière diffuse, et la troisième au soleil. La première aspire très-peu d'eau, la seconde plus, et la troisième davantage, comme Hall l'a démontré ; il a prouvé en même temps que les plantes vivantes augmentent de poids pendant la nuit, par la raison qu'elles absorbent sans transpirer.

On rapporte à la lumière le mouvement qu'éprouvent à la même heure certaines feuilles et certaines fleurs ; phénomène qui constitue le sommeil des plantes. L'influence du soleil est telle que la chaleur ni l'humidité ne paraissent intervenir en rien sur le phénomène. Cette influence est si marquée, que dès que le soleil paraît à l'horizon, les plantes reprennent la position qu'elles avaient précédemment. M. de Candolle a obtenu des résultats semblables en exposant des plantes dormeuses à la lumière d'un nombre suffisant de lampes, et changeant les habitudes des plantes, de telle sorte qu'il pût avec des lumières artificielles faire épanouir une sensitive la nuit, et des belles de nuit ouvrir leurs fleurs le matin. Tout tend donc à prouver que la lumière est le seul agent qui intervienne dans le sommeil des plantes.

La lumière est l'agent principal de la coloration des parties vertes des végétaux. L'expérience démontre que la quantité de carbone qui se fixe dans un végétal, dans un temps donné, dépend de l'intensité de la lumière à laquelle il est exposé ; or, comme la partie verte qui colore les feuilles est riche en carbone, il s'ensuit que plus une plante est exposée à la lumière, plus il se forme de matière verte ; et que moins elle est éclairée, plus elle est décolorée. M. de Humboldt a verdi légèrement le *lepidum sativum*, en l'exposant à la clarté de deux lampes ; expérience répétée avec succès par M. de Candolle avec six lampes d'Argant placées à $0^{m},33$ de distance ; mais il ne s'est pas dégagé d'oxygène sous l'eau. Les racines qui ne verdissent pas, même quand elles sont hors de terre, nous offrent cependant quelques exceptions dans ce dernier cas.

Le physicien ne doit pas se borner à étudier le pouvoir actif de la lumière ; il doit rechercher quelles sont les parties de la radiation solaire qui produisent les effets que nous venons de mentionner ; c'est ce que l'on commence à faire maintenant comme on va le voir.

Action de la lumière sur les plantes pour leur imprimer une direction.

La lumière solaire, ou du moins la portion de son rayonnement qui agit sur les végétaux pour produire l'exhalaison aqueuse et la décomposition de l'acide carbonique, jouit aussi de la propriété d'imprimer aux tiges et aux racines des plantes certaines directions. Nous en avons la preuve dans le phénomène très-anciennement connu sous le nom de tendance des tiges vers la lumière, lequel montre bien que certains rayons exercent une action sur les plantes. Voici en quoi consiste ce phénomène. Si l'on fait croître une jeune plante à l'obscurité, elle prend la direction verticale; mais vient-on à la mettre dans un lieu éclairé seulement d'un seul côté, la tige se courbe vers ce côté, comme si elle cherchait la lumière nécessaire à son développement. Plusieurs théories ont été mises en avant pour expliquer ce phénomène; mais il ne nous appartient pas de les discuter ici; nous dirons seulement que les expériences faites jusqu'à présent, à l'exception de celles dont il va être question ci-après, ne pouvaient pas faire connaître la portion de la radiation solaire qui intervient dans la production du phénomène. M. Payer est celui qui a envisagé la chose sous son véritable point de vue; il a fait usage pour cela de verres colorés et d'un spectre fixé à l'aide d'un héliostat. Nous ne parlerons que des résultats obtenus en agissant avec un spectre bien épuré produit par la réfraction d'un faisceau de rayons solaires à travers un prisme de flint, parce que ce sont les seuls qui puissent indiquer avec exactitude la réfrangibilité des rayons actifs. En opérant avec des verres colorés, on a seulement avec approximation l'indication des parties du spectre agissant sur les plantes soumises à l'expérience; car, d'après les raisons que nous avons alléguées en parlant de l'influence des écrans colorés sur l'action chimique de la lumière, l'on sait qu'ils ne peuvent pas être employés rigoureusement dans les expériences de physique, et que l'on peut être induit en erreur sur la réfrangibilité des rayons actifs qui les traversent.

M. Payer a commencé par démontrer ce fait, que plus la lumière ou du moins les rayons solaires avaient d'intensité, plus la courbure de la tige était considérable. Puis ayant placé pendant 7 ou 8 heures dans le spectre solaire obtenu avec toutes ses raies, comme il a été dit précédemment (action chimique de la lumière), des jeunes tiges de cresson qui avaient germé à l'obscurité, il ne vit se courber que

celles qui étaient placées dans la partie la plus réfrangible du spectre, depuis le bleu jusqu'à l'extrême violet, c'est-à-dire, entre les raies F et H de Frauenhofer.

Toutes les parties n'agissent pas avec la même intensité; il y a un point où est situé le maximum d'action. Au delà de H et de F, c'est-à-dire au delà du violet et dans les rayons les moins réfrangibles, on ne trouve aucune action.

M. Payer, en cherchant si les rayons solaires exerçaient une action sur les racines des jeunes plantes, a observé une série de faits qui montrent que certaines racines tendent à fuir la lumière. Pour en avoir la preuve, il suffit de faire germer des graines à la surface de l'eau, et d'exposer les plantules à l'action de la lumière. Pendant que les tiges s'inclinent du côté le plus éclairé, les racines se courbent en sens inverse.

Mais tandis que toutes les jeunes tiges se courbent vers la partie la plus éclairée d'une pièce, toutes les jeunes racines ne se courbent pas. Ainsi dans les racines du choux rouge et de la moutarde blanche, on voit ce phénomène se produire, tandis que celles du cresson alénois ne le présentent pas, quels que soient les rayons. Il y a des plantes dont les racines fuient la lumière directe du soleil et la lumière diffuse, d'autres les rayons solaires seuls, enfin d'autres ne se courbent pas, quelle que soit la lumière; ce qui revient à dire que le phénomène se manifeste à des degrès tres-différents sur les diverses plantes. M. Payer ayant opéré avec le spectre fixe comme précédemment, a vu aussi que les racines ne se courbaient qu'entre les réfrangibilités F et H. (Voyez la figure du spectre, planche VIII fig. I.) Il a reconnu que le point où les racines se courbent le plus, est aussi celui où les tiges s'inclinent le plus, c'est-à-dire que le maximum d'action est le même pour les racines et les tiges d'une même plante. Mais la position des maxima change d'une plante à une autre. Si on s'arrange pour qu'il n'y ait que la tige d'une plante soumise à l'action de la lumière, cette tige se courbe seule, et la racine reste droite. Ce qui montre que la courbure en sens inverse des racines n'est pas une conséquence de la courbure de la tige. Cette action des rayons solaires sur les tiges et les racines n'exercerait-elle pas une influence sur la tendance des tiges vers le ciel et des racines vers la terre? On a avancé que les tiges de certaines plantes se courbaient ou fuyaient les rayons rouges, et que, suivant la grosseur des tiges, il n'y avait pas d'action dans les parties les moins réfrangibles du spectre; mais les faits ne sont pas encore bien positifs. Il est probable que la cause de toutes

ces courbures réside dans une action des rayons solaires sur les tissus des plantes. Elle est due peut-être à une action chimique, qui est encore inconnue.

CHAPITRE IV.

Action de l'électricité sur la végétation.

L'électricité, en raison de son singulier mode d'action, dans un grand nombre de cas, prête tellement à l'illusion, soit qu'on la considère comme force mécanique, force chimique, calorifique ou phosphorogénique, que l'on cherche à la faire intervenir dans un grand nombre de phénomènes de la nature organique ; mais la plupart des personnes qui veulent lui faire jouer un rôle actif n'ont que des connaissances très-superficielles du mode d'action de cet agent singulier, que l'on peut considérer comme un véritable Protée, puisqu'à lui seul il peut remplacer toutes les forces qui régissent la nature inorganique. Un examen attentif de toutes ses propriétés montre qu'il existe une telle dépendance entre toutes les forces de la nature, qu'il pourrait bien se faire qu'elles dépendissent d'un seul principe; mais ce n'est pas l'instant de discuter cette question.

Occupons-nous maintenant de l'action de l'électricité sur les végétaux. Nous n'essayerons pas de voir si l'électricité peut produire des tissus, des organes, mais bien quelles sont les modifications qu'elle leur fait éprouver, quand elle agit comme force chimique, pour favoriser ou contrarier l'action des forces vitales, ou comme force physique pour exciter ces mêmes parties en produisant des contractions ou une accélération dans la circulation des liquides. C'est le seul moyen d'établir des rapports entre les forces électriques et les forces vitales dont la nature nous est inconnue. Commençons par les effets physiques.

Les corps organisés ne sont conducteurs qu'en raison des liquides qu'ils renferment. Certains organes ou tissus jouissent probablement, sous l'empire de la vie, de propriétés conductrices particulières; tels que les nerfs dans les animaux; dans les plantes on ne sait quels organes.

Les végétaux sont moins excitables par l'action de l'électricité, que

les animaux ; cependant ils sont impressionnés par cet agent, car les expériences de Giulio de Turin prouvent que les muscles des feuilles de la *mimosa sensitiva* et de ses folioles sont excitables par l'action du courant électrique. La *mimosa pudica* a donné des résultats semblables.

Le courant qui passe par les branches et les feuilles produit des contractions lentes, successives, séparées par des intervalles considérables; ce qui n'est pas de même chez les animaux, dont les muscles sont doués d'une plus grande excitabilité.

Dans des plantes où l'excitabilité est moins prononcée que dans la *mimosa pudica*, comme la *mimosa asparata*, l'irritabilité de ses nœuds, de ses feuilles, de ses folioles, est beaucoup moindre que dans les deux autres espèces, et il faut plus de temps pour que les contractions se produisent.

L'*hedysarum girans*, ainsi que d'autres plantes remarquables par les mouvements que présentent leurs folioles, n'éprouvent aucune action de la part du courant. Mais si l'électricité n'agit que très-faiblement sur les végétaux comme force mécanique, il n'en est pas de même de son action comme force chimique ; elle y produit des réactions qui peuvent intervenir d'une manière quelconque dans les phénomènes de la vie. Mais avant d'en parler, montrons l'existence probable des courants électriques dans les végétaux.

Des causes qui peuvent produire des courants électriques dans les végétaux.

Deux liquides différents, réagissant l'un sur l'autre et communiquant par un corps conducteur, métallique ou non, déterminent la production d'un courant électrique circulant tant que la réaction continue. Or, dans les végétaux, comme dans tous les corps organisés, il existe un plus ou moins grand nombre de liquides séparés par des tissus, ou autres organes, dont les uns permettent la réaction par suite d'effets d'endosmose, et dont les autres établissent la communication entre les liquides. Pour prouver la possibilité d'un pareil arrangement, nous citerons la pile de Bacomio, formée de tranches de racine de betterave, en contact avec des disques de noyer privé de sa matière résineuse, et dont les deux extrémités mises en contact au moyen de feuilles de cochléaria avec les muscles et les nerfs d'une grenouille nouvellement préparée, qui se contracta aussitôt. Cette pile, dans laquelle il n'entre que des matières végétales, nous laisse entrevoir comment il peut se faire que des courants

électriques circulent dans l'intérieur des corps organisés. On peut constater l'existence de liquides hétérogènes, et faire naître des courants dans les fruits, entre autres, les poires, les pommes, etc., en introduisant deux aiguilles de platine en relation avec un multiplicateur, l'une du côté de la tête, l'autre du côté de la queue; on a avec la poire, quand elle n'a pas atteint son degré de maturité, un courant dirigé dans un sens tel que le liquide de la queue se comporte comme alcali, et celui de l'œil comme acide. M. Donné prétend qu'il y a des effets inverses dans la pêche et la prune, et qu'il n'y a pas de courant en enfonçant les conducteurs à égale distance du milieu du fruit. Pour bien connaître la cause de ces effets, il suffit de couper en deux, perpendiculairement à la ligne qui joint la queue et l'œil, le fruit sur lequel on a opéré, et d'exprimer le jus de chaque partie dans un vase, de faire communiquer les deux vases par une bande de papier et de plonger les deux fils dans le liquide : on obtient un courant dans le même sens qu'avec le fruit.

Un physiologiste distingué qui a répété ces expériences, a prétendu que ces faits étaient inexacts, parce que, en enfonçant les aiguilles plus ou moins dans le fruit, le courant changeait de sens. Nous lui ferons remarquer qu'il ne s'est pas mis en garde contre certaines causes que nous allons indiquer. Quand on observe des courants électro-chimiques, il faut éviter toute cause de dégagement d'électricité, autre que celle que l'on a en vue. Si les aiguilles n'ont pas une surface très-propre et qu'il y ait des corpuscules de diverse nature, en haut et en bas, il n'en faut pas davantage pour déterminer deux courants en sens contraire. Fait-on chauffer les aiguilles dans la flamme d'une lampe à alcool pour enlever les corps étrangers, on dépose des produits résultant de la combustion, lesquels portent encore une perturbation dans les résultats. On ne peut s'assurer que les aiguilles sont très-propres qu'en les essayant avec de l'eau distillée, et ne commençant l'expérience que lorsqu'il ne se produit plus de courant en vertu de causes étrangères. Quiconque veut reconnaître les courants électriques, doit avoir fait une étude approfondie de toutes les causes qui dégagent de l'électricité, sans quoi il court le risque d'être induit en erreur par des effets secondaires produits.

De l'influence de l'électricité sur la végétation.

Nous avons à considérer l'électricité à l'état libre et à l'état de courant.

Toutes les tentatives faites jusqu'ici pour reconnaître l'influence de

l'électricité libre dans la germination ou la végétation, ont été sans succès, par la raison toute simple que les expérimentateurs se sont bornés à électriser les graines, ou du moins la terre qui les renfermait, ainsi que les plantes; mode d'électrisation qui ne pouvait produire qu'une légère excitation. Il est donc inutile de rapporter toutes les expériences infructueuses qui ont été faites. Il n'en est pas de même à l'égard de l'électricité agissant comme force chimique. Mais pour bien se rendre compte de ce qui doit se passer, il faut recourir à ce que nous avons dit de l'action des courants sur les principes immédiats des plantes, p. 460; comme il nous est impossible de décrire tous les effets physiologiques produits dans les diverses phases de la végétation, nous nous en tiendrons seulement à la germination, en soumettant les graines à l'action de courants énergiques ou de faibles courants.

Davy est le premier qui ait étudié l'action de l'électricité voltaïque à forte tension sur la germination. Il a avancé que le blé germait plus vite dans l'eau électrisée positivement que dans celle qui l'est négativement; ce résultat tient à ce que la graine était constamment entourée d'une atmosphère d'oxygène sans acide. S'il eût continué son expérience, il aurait eu des effets contraires. Les expériences suivantes ne laissent aucun doute à cet égard.

1re Exp. Graines de cresson alénois mises dans deux capsules d'argent renfermant de l'eau distillée, communiquant ensemble par une mèche de coton, mises en relation avec les extrémités d'une pile à auges de 30 couples chargée avec une solution légère de sel marin faiblement acidulée par l'acide sulfurique. La germination eut lieu dans la capsule négative, où les jeunes plantes s'élevèrent d'un centimètre dans l'espace de quinze jours; dans l'autre capsule les graines devinrent violettes : preuve qu'il s'était formé du nitrate d'argent, et par suite de l'acide nitrique.

2e Exp. En opérant avec deux capsules d'or ou de platine, séparées par une capsule de porcelaine dans laquelle se trouvaient également des graines et de l'eau de Seine, dans la capsule négative, la germination et la végétation se sont montrées sensiblement comme dans la capsule de porcelaine, tandis que de l'autre côté la germination a été lente et la végétation en grande partie atrophiée. L'eau de la capsule positive a donné la réaction de l'acide sulfurique; celle de la capsule négative, la réaction de la chaux. En interrompant la communication avec la pile, dès que l'on s'apercevait que la germination était en partie suspendue du côté positif, le développement de la jeune plante continuait à s'effectuer dans la capsule négative, tandis que dans l'autre la végétation était lente et suspen-

due. On voit d'après ces deux expériences que l'action de la pile est nuisible, et que Davy n'a suivi son action que pendant trop peu de temps pour s'en apercevoir.

Les courants provenant de l'électricité à faible tension ne produisent pas aussi rapidement des effets nuisibles, et peuvent même, dans un grand nombre de cas, agir dans un sens favorable à la végétation. Pour avoir une idée de ce qui se passe, voyons d'abord comment se comportent les matières amilacées et la gomme qui abondent dans les graines, quand on les soumet à l'action d'un seul couple cuivre et zinc plongeant dans de l'eau distillée, la face cuivre en dessus; on place sur le cuivre une bande de papier joseph sur laquelle on répand de l'amidon; 12 heures après, le papier tournesol faiblement rougi par un acide est ramené au bleu quand on le met en contact avec l'amidon; l'alcali mis à nu est de la soude. Dans ce cas, l'amidon éprouve au contact de l'air des changements qui rendent momentanément à ses éléments les états électriques qui leur sont propres. Dès lors ces éléments obéissent à l'action voltaïque.

Avec de l'eau de gomme, on obtient également, dans l'espace de 12 heures, la réaction alcaline, bien que la gomme n'éprouve que peu d'altération à l'air. De l'opium du commerce, qui rougit, comme on le sait, le papier tournesol placé sur la face cuivre avec une petite quantité de sucre, pour déterminer une fermentation, donne également la réaction alcaline. Ces faits prouvent qu'un seul couple voltaïque réagit sur les substances végétales pour séparer leurs éléments, surtout quand ces substances se trouvent dans un état de fermentation ou de décomposition qui rend momentanément à leurs molécules leurs propriétés électriques propres. Ce mode d'action révèle le secret de l'influence que peuvent exercer les courants électriques faibles provenant d'une électricité à faible tension sur la germination et les autres actes de la végétation.

Les graines soumises à l'expérience renfermant sous leur test une matière amilacée qui, peu à peu, se change en sucre pour la nourriture de l'embryon, doivent éprouver de la part de faibles courants des effets semblables à ceux de la gomme et du sucre, lesquels doivent modifier la végétation. Les expériences suivantes vont nous faire connaître comment agit l'électricité sur la germination dans cette circonstance.

1re Exp. On place dans deux soucoupes deux couples voltaïques; pour l'un, le cuivre en dessus, pour l'autre, le zinc en dessus; on met dessus du coton et des graines de cresson alénois avec de l'eau en quantité

suffisante pour humecter le coton. On dispose de même une lame de verre dans une autre capsule, afin d'avoir un point de comparaison. Deux ou trois jours après, les radicules paraissent en même temps sur les trois appareils. La végétation ne continue pas de la même manière sur chacun d'eux : elle est plus forte sur la face cuivre que sur le verre, tandis que sur la face zinc les radicules se contournent, se dessèchent peu à peu et les tiges ne croissent plus. Avec les pois ordinaires *(pisum sativum)*, on observe des effets semblables, qu'il est facile d'analyser avec une bande de papier tournesol, faiblement rougie par un acide, et qui est ramenée au bleu quand on la met en contact avec la face négative. L'alcali ne peut provenir que de la graine. Avec de l'eau de Seine, ou renfermant une petite quantité de sels, les effets sont plus marqués.

Pour voir si l'alcali n'était pas fourni par le verre, on a opéré avec des vases d'or ou de platine, et les graines ont été posées à nu sur la face cuivre; les effets ont été les mêmes. L'alcali provenait donc de la matière amilacée. Il est plus facile de concevoir l'enlèvement de l'alcali dans la germination qui marche rapidement, que dans la décomposition lente de l'amidon à l'air.

On voit donc que, sous l'influence de forces électriques faibles, l'action du pôle négatif active la nutrition, et celle du pôle positif la diminue jusqu'au point de la faire cesser. Quoiqu'on ne puisse dire au juste en quoi consiste l'action de chaque pôle, on voit cependant des effets généraux sur l'origine desquels on ne peut se méprendre.

Dans la germination, les éléments de la graine éprouvant sans cesse des changements, se trouvent nécessairement dans des états électriques dépendant du rôle que chacun d'eux joue dans la réaction, et obéissent par conséquent bien mieux à l'action du courant. Il en résulte que l'on peut employer avec avantage dans la germination, et même d'autres actes de la végétation, l'action d'un seul couple. On conçoit très-bien que les substances dissoutes dans l'eau étant également décomposées par l'action voltaïque, leurs éléments doivent réagir sur les plantes.

Au lieu d'employer comme précédemment des couples cuivre-zinc pleins, on prend des couples carrés, percés çà et là, de part en part, de trous de 4 à 5 millimètres, que l'on remplit de coton tamponné. Les bords de ces couples sont entourés de lames de verre mastiquées. On assujettit ces couples à la partie supérieure d'un vase rempli d'eau. Au moyen de cette disposition, les courants sont transmis de toutes parts d'une surface à l'autre par l'intermédiaire du coton; ce qui active

l'action voltaïque. On peut remplacer encore les couples carrés par des caisses formées de couples percés, quand on veut opérer sur des végétaux d'une certaine grandeur. Il est à regretter que les personnes qui s'occupent de physiologie végétale ne fassent pas usage de ces appareils qui pourraient les éclairer sur plusieurs points fondamentaux.

L'action du pôle négatif est aussi bien marquée sur les bulbes de jacinthe et autres que sur les graines dans le travail de la germination. Le mode d'expérimentation est à peu près le même. Les effets salutaires sont produits par l'alcali qui est transporté sur les racines et active la végétation; mais il ne faut pas que la quantité en soit trop considérable, car les racines seraient détruites. On savait depuis longtemps que les terrains arrosés par les eaux minérales qui renferment du carbonate de soude, sont plus fertiles que les terrains voisins qui ne sont pas arrosés par ces mêmes eaux. Même observation a été faite à l'égard des terres situées dans le voisinage des fabriques de savon, où l'on rejette une grande quantité de liquides alcalisés. L'alcali active non-seulement la végétation en excitant les spongioles qui terminent les radicules, mais encore en fournissant aux plantes un élément constitutif, car en les incinérant on retrouve la soude absorbée.

Les acides, par contre, produisent un effet opposé, comme tout le monde le sait, car la végétation est faible, languissante ou détruite dans le voisinage des fabriques d'acide; aussi trouve-t-on au pôle positif des effets semblables.

Des expériences touchant l'influence voltaïque sur la germination, ont été faites non-seulement dans de l'eau avec du coton, mais encore avec de la terre suffisamment humectée : les résultats ont été les mêmes dans les deux cas. Nous ferons à ce sujet quelques observations sur les fonctions du sol dans la végétation.

Le sol agit sur la végétation, non-seulement sous le rapport mécanique, mais encore en raison des éléments qu'il peut fournir aux plantes. La plupart des graines germent dans l'eau; mais les jeunes plantes périssent promptement, faute d'appui, quand elles ont pris assez de développement pour ne pouvoir plus nager à la surface. Le sol sert donc de support aux plantules, en même temps qu'il fournit lentement aux radicules, par l'intermédiaire de l'eau qu'il contient, les aliments nécessaires à la nutrition. Les effets doivent varier suivant la nature du sol, c'est-à-dire, suivant qu'il est siliceux, argileux, calcaire, léger ou compacte. S'il est trop siliceux, l'eau ne s'y conserve pas; s'il est trop argileux, il la conserve trop longtemps; enfin s'il est trop calcaire, l'eau dont il est imbibé dissout du carbonate de chaux

qu'elle dépose en s'évaporant sur la surface et dans l'intérieur de la plante, d'où résultent des effets nuisibles pour celle-ci.

Quel que soit le terrain, l'eau est toujours indispensable à la végétation, parce qu'elle sert au déploiement des forces physiques, chimiques et physiologiques dont l'action se manifeste d'abord dans les radicules. Nous nous abstiendrons de parler des graines qui prospèrent dans tel ou tel terrain, attendu que cette question n'est pas de notre ressort, l'influence seule des forces physiques devant nous occuper.

L'examen attentif auquel nous nous sommes livré, relativement à l'intervention de l'électricité dans l'acte de la végétation, prouve qu'elle agit en apportant aux racines des éléments favorables ou nuisibles à la végétation et que nous ne savons absolument rien sur son mode d'*action* dans la nature; il n'y a que des présomptions et rien de plus. Nous terminerons en rapportant l'opinion de M. de Candolle, que nous partageons jusqu'à un certain point : « Ceux qui ont cherché « à établir que le fluide électrique était l'agent de la vie, soit dans « les animaux, soit dans les plantes, me paraissent encore loin « d'avoir ébranlé l'idée générale du principe vital. D'un côté, la plupart « se fondent sur des données vagues et générales, qui sont presque « entièrement dénuées de preuves, comme on peut s'en convaincre « dans leurs ouvrages. De l'autre, en supposant que le fluide électrique « ait une action appréciable, qu'est-ce qui la met en jeu? Pourquoi « agit-il dans les êtres vivants et cesse-t-il d'agir dans les êtres morts? » Nous répondrons à cette dernière question que la cause qui met en jeu cette action est le principe vital qui opérant des décompositions chimiques doit produire de l'électricité. De plus, si rien ne dénote dans la végétation l'influence de l'électricité, il n'en est pas de même à l'égard de la vie animale, où l'on a quelques indices de l'intervention de l'électricité dans les phénomènes de la vie.

CHAPITRE V.

De l'intervention des forces physiques dans les phénomènes de la vie chez les animaux.

L'étude des forces qui président aux phénomènes de la vie dans les animaux, ainsi que celle des forces physiques et chimiques,

exerçant une influence sur ces phénomènes, doit attirer au plus haut degré l'attention du physiologiste, soit qu'il veuille en découvrir les lois, soit qu'il cherche à les appliquer à l'art de guérir. La nature organique emploie-t-elle d'autres forces que celles qui régissent la matière? C'est une question dont la solution est hérissée des plus grandes difficultés; car tout ce qui tient à la vie est entouré de mystère. Mais si les corps organisés vivants sont régis par des forces *sui generis*, on ne saurait disconvenir que les forces physiques et chimiques ne concourent avec les forces organiques à la production des effets variés qui accompagnent les actes de la vie. Outre les affinités, la chaleur, la lumière et l'électricité, dont l'intervention se manifeste partout où il y a de la matière, il faut distinguer une force particulière, à laquelle M. Berzélius a donné le nom de *catalytique*, et qui intervient probablement dans la formation des *sécrétions*. Ayant déjà mentionné dans cet ouvrage les effets de cette force dans la formation de plusieurs composés inorganiques, nous croyons devoir entrer dans quelques détails sur le rôle qu'elle peut jouer dans celle des sécrétions.

Si l'on considère les divers produits de la digestion dans les animaux, on trouve que des composés très-différents entre eux sont tirés d'une même substance par les fonctions des organes. C'est ainsi que le sang qui parcourt sans interruption plusieurs systèmes de vaisseaux, donne naissance au lait, à la bile, à l'urine, sans qu'on puisse indiquer la présence d'aucun corps concourant à la formation de ces produits. Dans ce cas on dit que ces organes élaborent le sang, ou plutôt en tirent des composés en vertu de forces qui leur sont propres, et qui n'ont aucun rapport avec les forces physiques ou chimiques. Mais sans exclure celles-ci, il faut examiner jusqu'à quel point la force catalytique peut intervenir dans toutes ces élaborations. Citons quelques exemples.

L'amidon dissous dans des acides étendus, et à l'aide de la chaleur, se transforme en gomme et en sucre de raisin, sans qu'il y ait aucune combinaison entre les éléments de l'acide et ceux de l'amidon; car on retire tout l'acide de la dissolution, à l'aide de bases, et du sucre dont le poids est très-peu différent de celui de l'amidon.

La décomposition de l'eau oxygénée, par les alcalis, le peroxyde de manganèse, le platine en éponge, l'argent, l'or en poudre, etc., nous présente un exemple analogue au précédent, puisque tous ces corps opèrent la décomposition comme l'acide, à l'égard de l'amidon, sans céder aucun de leurs éléments. Les effets remarquables découverts par

MM. Ed. Davy et Dobereiner sont du même genre. Le premier, humectant du platine très-divisé avec de l'alcool, vit le platine devenir incandescent, et l'alcool se transformer en acide acétique. Le second montra que l'éponge de platine pouvait servir à opérer la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, propriété que possèdent beaucoup d'autres corps. Tous ces faits prouvent que des corps simples ou composés, solubles ou insolubles, jouissent de la propriété d'exercer sur certains corps une action tout à fait différente de l'action chimique, puisque leur seule présence suffit pour déterminer entre les éléments des derniers, des phénomènes de décomposition et de recomposition. La force agissante étant commune à la nature organique et inorganique, pourrait bien être une de celles produisant des effets que les physiologistes rapportent à l'action des forces vitales. M. Berzélius, entre autres, pense que cette force n'est par indépendante des affinités électro-chimiques; mais il faut dire qu'on ignore les rapports directs qu'elle peut avoir avec elles. C'est à l'aide de la force catalytique de la diastase, que l'amidon, insoluble, est transformé en sucre et en gomme. C'est probablement aussi par son intervention que le lait, la bile, etc., sont retirés du sang. Nous ne pouvons rien dire de plus à l'égard des forces mises en jeu par l'action vitale.

Il n'entre pas dans notre plan de traiter de l'action des forces physiques pour modifier les phénomènes de la vie; ce sujet embrasserait une trop vaste étendue. Nous nous en tiendrons principalement aux forces à l'aide desquelles on produit les contractions, afin de montrer jusqu'à quel point les contractions produites sous l'empire de la vie dépendent ou non des forces dont nous aurons fait usage pour les provoquer.

Les muscles des animaux vivants se contractent non-seulement par l'acte de la volonté, mais encore par l'action du frottement, des acides et autres agents chimiques, et surtout de l'électricité; il en est de même à l'égard des animaux récemment tués. On attache de l'importance aux effets de l'électricité, parce que depuis la découverte du galvanisme, on s'est imaginé que cette force était l'agent universel, présidant aux phénomènes de la vie. Ce qui va suivre établira jusqu'à quel point cette opinion est fondée.

Pour bien juger du rôle que joue l'électricité dans les contractions des animaux vivants ou tués récemment ainsi que dans quelques phénomènes physiologiques, il faut examiner comment les autres forces concourent à la production d'effets semblables, et entrer dans des développements en dehors, il est vrai, du cadre de la physique

générale, mais néanmoins indispensables à l'intelligence du sujet que nous traitons. En étudiant séparément chacune des causes déterminantes des contractions, nous tâcherons de découvrir si dans leur mode d'action il n'existerait pas un lien commun qui nous éclairât dans les phénomènes de l'acte de la vie.

Les animaux ont des parties excitables, des parties sensibles, et des parties privées de ces facultés. Haller, dans ses recherches, dénudait les parties et y appliquait le scalpel, les acides, ou autres agents chimiques, afin de reconnaître la propriété de chacune de ces diverses parties. Il voyait alors les parties qui étaient agitées, et celles qui éprouvaient un sentiment de douleur. En irritant un nerf ou une de ses ramifications dans un muscle, il en résulte un mouvement brusque et rapide, qui néanmoins n'a pas l'énergie du cerveau quand celui-ci fait contracter les muscles d'un animal. En effet, dans ce dernier, la force de contraction musculaire est en raison composée de la force d'organisation des tissus et de la force d'excitation cérébrale. En suivant ce mode d'investigations, on reconnaît que la fibre musculaire, ainsi que les muscles essentiels de la vie, sont éminemment sensibles et contractiles, tandis que le poumon et le foie n'ont qu'un sentiment très-faible.

Le sang paraît nécessaire à l'excitabilité des muscles, puisque les contractions cessent dans les animaux à sang chaud quand il est coagulé; chez les animaux à sang froid, au contraire, vingt-quatre heures après la mort on peut obtenir encore des contractions. De plus, comme il ne se dégage pas de sang pendant que celles-ci ont lieu, il faut attribuer ce phénomène au dérangement momentané dans la position d'équilibre des parties constituantes des muscles. Rien n'est plus simple que de démontrer que le nerf est la partie essentielle d'où dépend la contraction : il suffit pour cela d'irriter successivement le nerf et le muscle correspondant, en évitant de toucher à une des ramifications principales de ce nerf.

Il faut distinguer la contraction proprement dite de l'effet qu'éprouve la fibre musculaire quand elle est plongée dans de l'eau, dont on élève la température jusqu'à l'ébullition. La fibre se crispe et prend un état particulier de condensation. Il y a donc une différence essentielle entre le raccornissement proprement dit et les contractions. Dans le premier cas, il y a déplacement sans retour des parties; dans le second, il y a déplacement momentané, retour après oscillation. Quand un nerf correspondant a été trop fortement et trop longtemps irrité, il cesse de se contracter. Le nerf étant coupé, si on

l'irrite au-dessous de la section, l'animal n'éprouve aucune sensation, mais le muscle se contracte aussitôt. Si l'irritation est portée au-dessus, il y a un effet inverse de produit, d'où l'on tire des conséquences faciles à apercevoir.

Si on lie le nerf brachial d'un chien, tant que dure la ligature, l'animal donne des marques d'une vive douleur; mais aussitôt après tout devient insensible sous la ligature; le tronc même du nerf irrité ne cause plus de douleur à l'animal : la compression empêche la cause qui produit la contraction de se transmettre dans son trajet; en détachant la ligature, tout rentre dans l'ordre. En coupant les nerfs des deux jambes de derrière d'une grenouille, elles perdent le sentiment et le mouvement volontaires; mais les muscles conservent leur excitabilité. La cause de la contraction sous l'empire de la volonté est donc transmise par les nerfs.

L'irritation des nerfs ne produit jamais de mouvement que dans le muscle correspondant; les nerfs ne remplissent que l'office de conducteurs, sans éprouver aucun mouvement apparent d'oscillation. Cette action qui provient du cerveau consiste à faire parvenir aux muscles une force secrète et invisible qui les met en contraction. Cette action peut-elle être le résultat du passage d'un fluide impondérable émané du cerveau ? C'est ce que nous aurons l'occasion d'examiner bientôt. Les considérations générales que nous venons de présenter étaient nécessaires pour bien se rendre compte des effets physiologiques de l'électricité, agissant comme force mécanique.

Les phénomènes physiologiques de l'électricité peuvent être divisés en trois classes : la première comprend les effets généraux produits par le passage de l'électricité à forte tension dans les corps; la deuxième, les effets si variés et si intéressants des contractions; la troisième, les changements chimiques produits par l'électricité agissant comme force chimique.

Action physiologique de l'électricité à forte tension.

On avait avancé que l'électricité accélérait les pulsations du pouls; mais Van Marum, qui a fait à ce sujet une série d'expériences avec la grande machine du Musée de Teyler, a constamment eu des résultats négatifs.

On avait aussi dit que l'électricité accélérait la circulation du sang, en raison des effets produits dans les vaisseaux capillaires; mais la comparaison n'était pas exacte. On s'est fondé sur l'expérience faite

par Bœckler, à Strasbourg, lequel avait placé sur un isoloir une personne électrisée à laquelle on avait ouvert la veine. Dès que le patient touchait le sol, le jet perdait de sa force, de sa vitesse et de son amplitude. Cet effet n'eut lieu que parce qu'il y avait une ouverture; sans cela, toute l'électricité se serait portée à la surface.

En général, lorsque le fluide électrique traverse un corps, il exerce une action répulsive sur toutes ses parties. Mais il faut pour cela qu'il soit en mouvement; si son énergie est suffisante pour vaincre la force d'agrégation, le corps se trouve brisé, fondu ou volatilisé. MM. Prevost et Dumas, en faisant partir une étincelle électrique à travers une petite goutte de sang, ont trouvé que celle-ci prenait un aspect framboisé, annonçant la séparation partielle des globules élémentaires.

Van Marum, qui a fait des expériences sur des animaux avec une batterie de 500 pieds carrés (55,55 mètres), a reconnu que, frappés par l'électricité, ils ne perdent pas toujours la vie au moment de la décharge, comme cela arrive par l'effet de la foudre, qui produit, en raison de son intensité d'action, ou des convulsions violentes suivies de mort, ou des paralysies temporaires dont l'animal peut guérir. Pour démontrer l'influence de l'électricité sur l'irritabilité, il a opéré sur des serpents, des vipères, animaux d'une excitabilité difficile à détruire, et qui se meuvent encore quelquefois après vingt-quatre heures de mort visible. En faisant passer la décharge par toute la longueur du corps d'anguilles, ayant environ cinq décimètres de longueur, celles-ci furent tuées sur-le-champ; et aucun des excitants ordinaires ne put indiquer aucune trace de l'irritabilité.

Van Marum examina si cette extinction momentanée de l'irritabilité était causée par le désordre accidentel à l'organisation, ou du moins de quelques parties essentielles de la vie. Pour savoir à quoi s'en tenir à cet égard, il a fait passer la décharge par différentes parties du corps, d'abord par la tête, et la fit sortir après qu'elle eut traversé les 3/4, les 5/6, les 7/8 de la longueur. Il vit alors que la partie postérieure du corps de l'anguille, celle qui n'avait pas été traversée par la décharge, avait conservé son irritabilité, mais que la partie antérieure était devenue insensible, comme dans le cas où la décharge avait traversé le corps dans toute sa longueur. En faisant passer tantôt la décharge par la queue, tantôt par la tête, il s'assura que la partie traversée par la décharge électrique était toujours devenue insensible. Dans des expériences faites sur de grandes anguilles de près d'un mètre de long, et en faisant entrer la décharge par la

partie antérieure de la tête, il reconnut que la mâchoire inférieure, les muscles du cou et du ventre, avaient conservé leur irritabilité, quoique les fibres musculaires du dos l'eussent perdue tout à fait. La décharge ne se divisait donc pas dans tout l'animal, et suivait particulièrement la partie supérieure.

D'où il résulte que le système nerveux est particulièrement affecté et détruit par l'effet du passage d'une forte décharge; dès lors celle-ci doit produire des effets plus marqués encore sur les fibres musculaires des quadrupèdes, qui perdent plus rapidement leur irritabilité; car l'expérience a prouvé qu'elle agissait particulièrement en détruisant l'irritabilité des fibres musculaires, par suite d'une désorganisation quelconque. De plus, le système nerveux étant frappé de mort immédiate, la circulation doit être suspendue aussitôt que le cœur et les artères ont perdu leur irritabilité. Ici, il n'est question que de l'effet général, et non des effets produits quand certains organes sont perforés par l'effet de la décharge.

Phénomènes de contraction produits sous l'influence de l'électricité voltaïque.

La grenouille est l'animal par excellence pour l'étude des contractions musculaires, en raison de la grande irritabilité qu'elle conserve pendant plusieurs heures et même plus, suivant son degré de vitalité. Nous renvoyons le lecteur aux détails anatomiques que nous en avons donnés dans le premier volume, afin de bien comprendre les effets que nous allons décrire.

Pour la rendre propre aux expériences, on coupe la colonne dorsale un peu au-dessous des pattes de devant; on conserve la partie antérieure, dont on enlève la peau en la retournant, puis on détache les chairs qui entourent la colonne, afin que les cuisses entièrement dénudées ne tiennent à la colonne vertébrale que par les nerfs lombaires. La grenouille ainsi préparée est apte à faire les expériences. Si on arme le muscle et le nerf avec une feuille de platine pour faire passer de l'un à l'autre, soit la décharge d'une bouteille de Leyde faiblement chargée, soit un courant électrique provenant d'un seul couple, les muscles sont aussitôt violemment contractés. On obtient des résultats semblables, quoiqu'à un degré moindre, en employant des courants thermo-électriques. Enfin, toutes les fois que les muscles et les nerfs d'une grenouille nouvellement préparée sont mis en relation au moyen d'armatures de métal différent, et dont l'un est

oxydable, on trouve qu'il y a toujours contraction, dès que l'on met en contact les deux armatures; l'effet produit est en rapport avec le degré d'oxydabilité. Nous ne rapporterons pas ici l'historique des débats qui se sont élevés entre Galvani et Volta, relativement à la cause du dégagement de l'électricité, parce que nous l'avons exposé avec des développements suffisants dans le premier volume de cet ouvrage. Nous nous bornerons à dire que toutes les fois que les armatures sont formées de métaux inoxydables, et que leurs surfaces sont parfaitement propres, leur simple contact ne produit jamais de contraction, et que les effets découverts par Galvani sont dus à un courant électrique résultant de l'action chimique produite par le liquide humectant les parties animales sur le métal formant l'une des armatures; il n'est pas nécessaire que le courant traverse en même temps les muscles et les nerfs pour produire les contractions, il suffit de le faire passer seulement dans une partie du nerf, quelque petite qu'elle soit. Le courant électrique jouit encore de la propriété de faire contracter les muscles de la vie organique, tels que le cœur, lors même que le courant cesse de les affecter. Ce fait a été mis en évidence par M. de Humboldt, avec le cœur d'une grenouille tellement affaibli qu'il ne donnait plus qu'une pulsation en quatre minutes. Tous les excitants ordinaires ayant été impuissants, le cœur fut électrisé, puis abandonné à lui-même; il donna 35 pulsations dans la première minute, 31 la seconde, 23 la troisième, 12 dans la quarième, et 4 dans la cinquième.

Les contractions résultant du passage du courant à travers les nerfs et les muscles ne se manifestent qu'à l'instant où l'on ferme le circuit; les muscles contractés reprennent immédiatement leur état de repos, bien que le courant continue à circuler. Vient-ou à l'interrompre, les contractions se manifestent de nouveau, et cessent aussitôt après. On obtient des effets semblables en opérant sur des muscles séparés du tronc nerveux; mais comme on ne peut enlever leurs ramifications, on doit attribuer les effets produits à ce qu'elles sont affectées. Nous allons examiner jusqu'à quel point elles concourent à la production du phénomène.

MM. Lehot, Bellingeri et Marianini, qui ont étudié les effets résultant de l'excitation des nerfs, ont posé les trois lois suivantes : 1° Quand on agit sur les nerfs seulement, les muscles correspondants se contractent toutes les fois que le courant est dirigé dans le sens des ramifications nerveuses; 2° aucun effet n'est produit alors en interrompant le circuit; 3° si le courant chemine en sens inverse, il n'y a pas de

contraction en fermant le circuit; elle ne se manifeste qu'en l'interrompant. M. Matteucci a cherché s'il en était encore de même quand le courant est dirigé normalement à la longueur du nerf. A cet effet une grenouille, préparée à la manière de Galvani, a été séparée en deux dans le sens de la longueur, et par le milieu de la moelle épinière; et une des moitiés fut suspendue par la patte à un fil de soie, le nerf plongeant dans un vase rempli d'eau; les extrémités de deux fils de platine, recouverts de gomme laque dans les deux parties non immergées, furent plongées dans l'eau à une distance de 3 à 4 millimètres, dans une direction perpendiculaire au nerf; la décharge d'une pile de 30 couples fut transmise par ces fils. La grenouille ne se contracta pas; de là M. Matteucci en conclut qu'il n'y a pas de contraction quand le nerf est affecté normalement à sa longueur. Nous désirerions savoir s'il en est toujours ainsi quels que soient le degré de vitalité de l'animal et l'intensité du courant; car on sait qu'en piquant la moelle épinière ou un nerf, et en agissant par conséquent sur un point seulement, on détermine des contractions.

Causes qui modifient l'action de l'électricité sur les nerfs. Effets de la ligature.

Lorsqu'on fait une ligature à un nerf, et qu'on l'irrite au-dessus, les muscles inférieurs ne se contractent pas, et l'animal éprouve de la douleur; au-dessous, les effets sont inverses. Avec l'électricité on a observé des effets semblables en opérant sur une grenouille partagée en deux, de manière à agir sur la patte, la cuisse, le nerf et la moelle épinière d'une moitié suspendue à un fil de soie. On n'a point à craindre ainsi les effets des courants dérivés qui ont presque toujours lieu quand l'animal repose sur un support quelconque. Les choses étant ainsi disposées, on serre le nerf par le milieu avec un fil, jusqu'à ce qu'on aperçoive de légères contractions dans la jambe, et on applique ensuite les deux pôles d'une pile de 15 éléments à deux points du nerf éloignés, au-dessus de la ligature; il n'y a pas de contraction, quelle que soit la direction du courant. Il n'en est pas de même, en portant les pôles au-dessous de la ligature : on obtient alors les mêmes effets qu'avec les stimulants ordinaires. L'électricité se comporte donc dans cette circonstance comme ces derniers.

Le phénomène des contractions ne paraît nullement modifié par les poisons, particulièrement par l'acide cyanhydrique et la morphine, comme l'a constaté M. Matteucci.

Alternatives voltaïques.

Il a été établi que les contractions cessent dès l'instant que le courant direct est établi invariablement entre le nerf et le muscle; on doit en conclure que le passage de l'électricité y produit une modification instantanée, qui subsiste tant que circule le courant. Or, comme il y a contraction, en général, quand on interrompt le circuit, cet effet nous indique la cessation de cette modification, et le retour des parties constituantes à leur position naturelle d'équilibre. Nous verrons plus loin les conséquences que l'on peut tirer de cette observation. Quand le courant, provenant d'un certain nombre de couples, a circulé pendant un certain temps, une demi-heure, par exemple, l'animal ne se contracte plus, en ouvrant ou en fermant le circuit; mais si l'on change la direction du courant, les contractions se manifestent de nouveau. En intervertissant un certain nombre de fois le sens du courant, on peut annuler ou rappeler à volonté l'excitabilité des muscles de la grenouille; tel est le phénomène des alternatives. Cette expérience prouve évidemment que le courant traversant pendant un certain temps les muscles et les nerfs n'y produit pas une désorganisation, mais bien un dérangement momentané dans le groupement des parties organiques. Mais si les organes d'une grenouille traversée pendant un certain temps par un courant d'une intensité donnée, perdent leur faculté contractile, en ouvrant ou en fermant le circuit, ils ont néanmoins le pouvoir de se contracter sous l'influence d'un courant plus énergique.

Les muscles d'une grenouille qui ont perdu leur faculté contractile par le passage d'un courant, la recouvrent par le repos; néanmoins l'excitabilité se trouve affaiblie, comme M. Marianini l'a observé. Dans ce cas, les molécules organiques reprennent peu à peu leur position première. Dans l'animal vivant, de semblables effets sont produits; seulement les forces vitales réparent promptement les atteintes portées par le courant aux organes du mouvement. Ce pouvoir réparateur ne s'éteint pas avec la vie, puisqu'il subsiste encore après pendant un certain temps, durant la lutte entre les forces de la nature inorganique et les forces physiques. Dans les expériences sur les alternatives de la grenouille vivante, il faut avoir égard à la volonté de l'animal qui peut influer sur les effets des courants, jusqu'au point de les contre-balancer presque entièrement, si ces courants n'ont pas une grande intensité, et que l'animal ait une forte vitalité, et par conséquent, une volonté puissante. On peut s'assurer de ce fait en opérant successivement sur un membre tenant encore à l'animal, et sur le même membre

séparé. Si la permanence d'un courant affaiblit l'irritabilité du muscle, elle l'augmente au contraire en fermant le circuit, l'ouvrant immédiatement après et continuant plusieurs fois cette manœuvre.

En agissant sur les filets nerveux seulement, on produit aussi le phénomène des alternatives. Pour interpréter les faits, il faut se rappeler ce que nous avons dit touchant les contractions obtenues quand le courant traverse le nerf seulement : le courant inverse ne donnant jamais de contractions en entrant dans le nerf, il s'ensuit que le courant direct parcourant le nerf ne sera jamais suivi de contractions quand on interrompra le circuit. Rien n'est plus simple que de prouver que la contraction produite à l'instant où l'on interrompt le circuit est due à l'action d'un courant d'induction dirigé en sens inverse du premier : on place le tronc d'une grenouille dans une tasse remplie d'eau en relation avec le pôle positif d'une pile, et les deux cuisses dans une autre tasse en communication avec le pôle négatif. En fermant le circuit, les contractions se manifestent; en le rompant, elles sont à peine sensibles ou nulles; c'est le fait déjà rapporté. En dirigeant le courant en sens inverse, les effets sont contraires. Concluons de là que les contractions qui se manifestent quand on interrompt le circuit proviennent d'un courant d'induction dirigé par conséquent en sens inverse du courant primitif.

M. Peltier a cherché à expliquer le phénomène des alternatives, en admettant que, par l'effet du passage du courant, les muscles et les nerfs se polarisent, de même que les lames métalliques qui ont servi à transmettre un courant dans un liquide. Effectivement, si l'on fait passer un courant provenant d'un appareil composé de 15 à 30 couples, à travers les deux jambes d'une grenouille, qui plongent chacune dans un vase rempli d'eau, au bout de quelques minutes, on reconnaît, soit avec un multiplicateur, soit avec une grenouille, que les jambes sont polarisées; et l'effet est tellement marqué que l'on peut, comme l'a fait M. Matteucci, former une pile secondaire à la manière de Ritter, avec des grenouilles dont les muscles ont servi à transmettre un courant. Mais, est-ce bien là la cause du phénomène? Pour le savoir, ce physicien a introduit un multiplicateur dans le circuit, à travers lequel il a transmis un courant : en renversant ce courant on aurait dû avoir une déviation plus grande, puisque dans ce cas le courant secondaire s'ajoute au courant de la pile; mais il n'en est pas ainsi : la grenouille se contracte, la déviation, d'abord très-grande, diminue, puis l'on détruit le circuit, on le rétablit et on note la déviation; on renverse la grenouille, en chan-

geant de place les jambes et les nerfs; on ferme le circuit, et on note encore la déviation. On obtient toujours de fortes contractions, sans que la déviation présente des différences. M. Matteucci a conclu de là, que la contraction produite quand on change la direction du courant ne doit pas être attribuée à une augmentation d'intensité du courant résultant des polarités secondaires; l'explication que nous avons donnée du phénomène des alternatives nous paraît la plus rationnelle et doit être prise ici en considération.

Des sensations produites dans la grenouille par le passage du courant.

Le courant, suivant sa direction, en traversant les muscles et les nerfs, produit, soit des effets de contraction, soit des effets qui affectent douloureusement l'animal; ces derniers ont été analysés avec beaucoup de soin par M. Marianini, et les expériences répétées avec succès par plusieurs physiciens, non-seulement sur les grenouilles, mais encore sur d'autres animaux. La disposition suivante permet de faire facilement l'expérience : on fixe une grenouille par les quatre pattes avec des clous, sur une planche de bois vernissé, le bas-ventre de la grenouille touchant la planche; on découvre le nerf crural et le nerf sciatique, on enlève la peau, les muscles, ainsi que l'os de la cuisse, de sorte que la jambe ne tient plus au tronc que par le nerf. On fait passer le courant dans ce nerf en augmentant successivement le nombre des couples; on obtient alors les effets suivants : Quand le courant est direct en l'introduisant, on a toujours une forte contraction dans les membres postérieurs; si on ouvre le circuit, la contraction est plus faible, la portion dorsale se replie, éprouve une secousse, et il arrive quelquefois que l'animal crie; avec le courant inverse la grenouille plie le dos, se retourne sur les flancs, sa respiration devient difficile, et tout annonce la douleur. En interrompant le courant, les membres postérieurs se contractent. Diverses expériences sont venues confirmer ces observations de M. Marianini, qu'il y a sensation de douleur toutes les fois que le courant entre dans les nerfs dans une direction opposée à leurs ramifications, tandis qu'il y a contraction quand le courant suit une direction opposée.

Les effets que nous venons de rapporter tendraient donc à montrer que le nerf est organisé de manière à propager certains mouvements dans le sens de ses ramifications, et qui ne seraient transmis que difficilement dans le sens opposé, d'où résulterait alors un sentiment de

douleur. Il se produirait alors des effets analogues à ceux que l'on observe dans certains animaux, lorsqu'on les frotte dans le sens des poils ou à rebrousse poil. Mais comme il existe des nerfs qui président, les uns au mouvement, les autres au sentiment, il s'agit de voir dans cette circonstance jusqu'à quel point les uns et les autres sont affectés par le passage du courant. C'est une question que nous examinerons en traitant de ces deux espèces de nerfs.

Lois suivant lesquelles l'activité de la grenouille diminue.

Dans les alternatives, le courant produit dans les nerfs une nouvelle condition, qui les rend moins sensibles à l'action du courant; or, on sait que, sans employer les alternatives, l'animal cesse de se contracter un certain temps après sa mort; on a cherché quelle était la loi de cet affaiblissement. Valli avait remarqué qu'en soumettant les diverses parties d'un nerf à l'action d'un courant, la partie qui devient d'abord insensible pour provoquer des contractions est celle qui est la plus rapprochée de l'origine du nerf, c'est-à-dire du cerveau. Ce fait a été confirmé par tous les physiologistes. M. Matteucci a repris l'étude de cet ordre de phénomènes, pour voir comment s'éteignait dans le nerf la faculté de faire contracter le muscle; voici le détail d'une des expériences qu'il a faites avec une grenouille préparée. On découvre le nerf crural et le nerf sciatique, et on touche ce dernier avec les extrémités d'un couple zinc et platine placé sous les nerfs, et disposé de manière qu'il chemine directement. Quel que soit le point touché, on obtient toujours des contractions dans le premier moment; quelques minutes après, si l'on touche le nerf près de son insertion dans la moelle épinière, les contractions sont à peine sensibles, et cessent peu après; tandis que si on touche le nerf à côté de son insertion dans la jambe, on a des contractions très-fortes. Si on attend encore, pour avoir des contractions, il faut découvrir et toucher une portion du nerf plus éloignée encore de la moelle épinière. En général, la portion du nerf qui à l'introduction du courant inverse excite des sensations douloureuses, s'approche d'autant plus de l'origine du nerf, que l'animal s'affaiblit, tandis que le contraire a lieu pour les contractions.

M. Matteucci, qui a cherché à se rendre compte de cette disposition du nerf, a reconnu qu'on ne devait pas l'attribuer à un desséchement. Ainsi tout tend donc à prouver que cette faculté du nerf à faire contracter le muscle dépend d'une disposition organique qui disparaît d'abord quelque temps après la mort, dans les parties les plus

rapprochées du cerveau, et ainsi de proche en proche jusqu'aux extrémités.

Des contractions tétaniques.

Quand on prépare une grenouille, quelquefois il arrive que les membres prennent l'état tétanique, surtout quand cette opération se fait rapidement et que l'animal est vigoureux; il arrive aussi que les muscles sont dans un état de relâchement et de souplesse absolue. Néanmoins, dans l'un et l'autre cas, les grenouilles se contractent sous l'influence d'un courant. Dans le premier, ce sont de simples mouvements, tandis que dans l'autre ce sont de véritables contractions. M. Nobili est parvenu à donner le tétanos à une grenouille préparée, en interrompant et rétablissant le circuit assez rapidement pour que la contraction provenant d'un premier contact, subsistât encore avant la production de celle provenant du contact suivant: l'effet ne peut guère être attribué qu'au changement d'état du nerf, qui passe rapidement de l'état naturel à un état forcé, et réciproquement. Le tétanos naturel ne proviendrait-il pas de modifications semblables qu'éprouverait le système nerveux à la suite de vives douleurs ou de diverses causes morbides? On pourrait peut-être le faire cesser en prenant en considération le fait suivant observé par M. Nobili: que des grenouilles ayant le tétanos persistaient dans cet état sous l'influence d'un courant et se détendaient souvent complétement sous l'action d'un courant dirigé en sens inverse du courant propre de la grenouille.

Quelques expériences entreprises dans cette direction ont donné des résultats assez satisfaisants pour qu'il soit permis d'espérer qu'en les variant on puisse arriver à quelque chose de certain.

CHAPITRE VI.

Du courant propre des animaux vivants.

Nous avons vu qu'en faisant passer un courant, même très-faible, dans les muscles et les nerfs d'une grenouille nouvellement préparée, au moyen de deux armatures de métal différent, mises en contact, il en résultait aussitôt une contraction. Galvani, pour combattre les idées de Volta sur la théorie du contact, avança qu'on pouvait les

faire naître sans armatures métalliques, en mettant en contact les muscles et les nerfs, sans l'intermédiaire d'aucun métal. Cette expérience a été réalisée par Aldini de la manière suivante :

On prend une grenouille préparée comme à l'ordinaire, on soutient avec la main la colonne vertébrale, de l'autre, on saisit un des pieds et l'on fait ployer la jambe, jusqu'à ce que les muscles de celle-ci viennent toucher les nerfs crureux. Il en résulte aussitôt de vives contractions, qui néanmoins ne se manifestent qu'autant que les grenouilles sont robustes, que les muscles ne sont pas surchargés de sang, et que la préparation est faite rapidement. Il s'agissait de reconnaître si les contractions résultant du contact des muscles et des nerfs devaient être attribuées à un courant produit par le contact simple ou toute autre cause. M. Nobili, qui a étudié cette question, a reconnu que l'effet était dû à un courant électrique dirigé de telle manière que le nerf fournissait l'électricité positive, et le muscle l'électricité négative. Le courant ainsi produit va des pieds à la tête, et est appelé courant de la grenouille ; il est appréciable à un multiplicateur très-sensible à fil long ; voici le mode d'expérimentation : On prend deux capsules remplies d'une solution de sel marin, dans chacune desquelles on plonge une lame de platine, terminée en pointe et recouverte de cire à cacheter presque jusqu'aux extrémités, afin d'éviter des courants secondaires. La grenouille ayant été préparée à la manière de Galvani, on plonge un des morceaux de l'épine dans un des verres, les jambes dans l'autre, les cuisses se trouvant entre les deux vases. Le courant qui va des pieds à la tête produit une déviation de 4, 5, 12 et même 20°, quand l'animal a une grande vitalité. M. Matteucci, pour obtenir le courant avec l'animal vivant, étend la grenouille sur un taffetas vernissé, et après l'avoir préparée, il place un des conducteurs sur l'un des tendons des jambes, et l'autre sur les nerfs spinaux. Pour avoir un courant plus considérable, on forme une pile avec plusieurs grenouilles préparées, comme l'a indiqué Nobili ; chaque couple est formé de deux petits verres, et d'une grenouille disposée comme on l'a dit plus haut. On obtient ainsi un courant trois ou quatre fois plus fort qu'avec une seule grenouille, et alors on peut substituer au galvanomètre une pile de grenouilles pour reconnaître l'existence d'un courant. Le sens du courant est indiqué par la production ou l'absence de contractions à l'instant où l'on ferme le circuit.

M. Matteucci, pour comparer le courant propre de deux grenouilles, place celles-ci sur le plan isolant, en les mettant en opposition,

le nerf de l'une avec le nerf de l'autre ; on obtient alors une différence entre les deux courants. Deux piles, composées chacune de 8 grenouilles, ayant été mises ainsi en opposition, et en rapport avec un multiplicateur, n'ont donné que 2° de déviation. Suivant ce physicien, le courant de la grenouille ne s'affaiblit pas en le laissant circuler, et les polarisations secondaires des extrémités de l'animal ne sont pas appréciables.

Nobili avait annoncé que l'on n'avait jamais de courants en opposant deux grenouilles l'une à l'autre ; il raisonnait alors dans la théorie de Volta ; mais M. Matteucci a obtenu des contractions, pourvu qu'il touchât des parties non symétriques des grenouilles. Pour le prouver, il prend une grenouille préparée, coupe l'os iliaque qui réunit les deux cuisses, afin de partager la grenouille en deux parties qui ne tiennent plus que par les nerfs spinaux ; ces deux parties sont placées sur le plan isolant, les deux cuisses bien séparées et les nerfs tendus ; dans cet état on obtient des contractions en touchant une cuisse avec l'autre jambe ; tandis qu'on n'a rien en mettant en contact les jambes. En introduisant un multiplicateur dans le circuit, l'on a une déviation annonçant que le courant va de la jambe à la cuisse, et de celle-ci par les nerfs à l'autre cuisse. En variant cette expérience de diverses manières, M. Matteucci a trouvé que chacun des membres d'une grenouille peut être considéré comme un élément électro-moteur complet, d'où il suit que lorsque les contractions ne se manifestent pas, cet effet négatif ne provient que de ce qu'on a touché deux parties symétriques. Voici une autre expérience :

Avec la grenouille partagée en deux, on dispose les deux membres de manière que le nerf de l'un et la patte de l'autre plongent dans le liquide d'un petit verre, l'autre patte et l'autre nerf dans un autre petit verre ; on obtient alors de très-fortes contractions en fermant le circuit. Si l'on plonge les deux lames dans les deux verres, on n'a point de courant ; dans ce cas les courants des deux membres circulent ensemble dans les deux membres. S'ils circulaient en sens contraire, on n'aurait pas non plus de déviation. Il n'en est plus de même, comme on l'a vu précédemment, quand les deux nerfs plongent dans un même verre, et les deux jambes dans l'autre ; dans ce cas, on a un courant dérivé. La déviation de l'aiguille aimantée n'augmente pas en opérant avec un plus grand nombre de grenouilles disposées sous forme de pile ; au delà de douze, l'intensité cesse de croître. M. Matteucci a opéré ensuite avec la grenouille entière et la moitié de la grenouille ; il a préparé à cet effet 4 ou 6 grenouilles partagées

en deux, et autant d'entières, et il a formé deux piles sur le plan isolant, l'une avec les demi-grenouilles, l'autre avec les grenouilles entières, et les a opposées l'une à l'autre en faisant toucher ensemble les extrémités semblables de ces deux piles. De cette manière il n'a pas obtenu d'effets bien distincts d'un courant différentiel, quoique chacune de ces piles, agissant isolément, donnât 15, 20 et 25° de déviation; de là on tire les conséquences suivantes : l'élément électro-moteur complet du courant de la grenouille, ou plutôt le courant producteur d'électricité, est formé d'une jambe, de la cuisse, de son nerf spinal et d'un morceau d'épine; par chacun des membres de la grenouille circule le courant de l'autre membre, en laissant intacte la grenouille, et en faisant communiquer ensemble, et d'une manière quelconque, les deux extrémités ou jambes de la même grenouille. Dans l'expérience où l'on met en évidence avec le multiplicateur le courant de la grenouille, on n'a dans le fil que le courant résultant de la somme de deux portions des courants des deux membres, qui ne se déchargent pas de membre à membre.

D'où peut donc provenir le courant de la grenouille dont les physiologistes ont un si grand intérêt à connaître la cause, pour savoir jusqu'à quel point l'électricité intervient dans les phénomènes de la vie? Pour remonter à cette cause il faut chercher les parties de la grenouille indispensables à la production de son courant, ainsi que les circonstances anatomiques et physiologiques capables de faire varier cette intensité.

Dans l'expérience précédemment rapportée pour observer le courant de la grenouille, on enlève les deux nerfs spinaux, et le morceau de moelle épinière, en laissant les os et les muscles du bassin; puis on essaye le courant de la grenouille en faisant plonger dans les deux verres, d'une part le bassin, de l'autre la jambe; le courant est encore dirigé dans le même sens, et son intensité paraît même plus forte. Deux piles ayant été préparées, l'une avec des grenouilles comme à l'ordinaire, et l'autre avec des grenouilles sans moelle épinière et sans nerfs spinaux, puis opposées l'une à l'autre, on a obtenu un courant différentiel, annonçant que la pile composée de grenouilles sans nerfs donnait le courant le plus fort.

Il est démontré par là, 1° que le courant propre de la grenouille conserve sa direction et son intensité sans la moelle épinière, les nerfs spinaux et cruraux, et bien qu'on ait enlevé les filaments nerveux visibles de la cuisse; 2° la cause de la production du courant existe au contact des muscles de la jambe et de la cuisse unis organiquement;

Digitized by Google

3° qu'en laissant à la grenouille préparée comme à l'ordinaire sa moelle épinière, ses nerfs, et ses ramifications dans les nerfs, toutes ces parties agissent dans la production du courant comme la substance musculaire de la cuisse. Passons *à l'influence qu'exercent sur le courant les muscles de la cuisse, ceux de la jambe et les tendons.* M. Matteucci, pour la déterminer, a composé une pile de jambes sur le plan isolant, en mettant en contact avec les tendons de la jambe les extrémités de ces mêmes jambes, dans les points où elles avaient été coupées. Le courant obtenu a été aussi fort que celui produit par le même nombre de grenouilles entières; le courant a toujours été dirigé des extrémités vers la tête.

Des piles formées avec des cuisses seules sans filets nerveux ou avec des filets nerveux n'ont donné que de très-faibles indices de courant, même en composant ces piles de douze cuisses; le courant était toujours dirigé des extrémités à la tête.

En enlevant la surface tendineuse de la jambe, et formant une pile avec des jambes ainsi préparées, on a encore eu le courant propre de la grenouille, dont l'intensité était sensiblement plus grande que celle obtenue dans les mêmes circonstances, en laissant intact le tendon de la jambe.

Des cuisses sans nerfs spinaux et sans jambes ont été coupées de travers; on en a formé une pile en mettant en contact la surface musculaire interne d'un morceau avec la surface externe de l'autre; on a eu constamment un courant dirigé de la surface interne à la surface externe, et dont l'intensité était en général un peu plus grande que celle du conrant obtenu avec une pile composée d'un même nombre de grenouilles entières. En prenant une cuisse coupée par la moitié, on peut se servir du morceau qui était uni à la jambe ou celui situé du côté opposé: quel que soit le morceau dont on se serve pour former la pile, le courant est toujours dirigé de l'intérieur du muscle à la surface.

Les faits précédents condnisent aux conséquences suivantes : 1° on peut obtenir le courant propre avec la jambe seule; 2° en mettant en communication l'intérieur d'une masse musculaire et sa surface, on a un courant dirigé de l'intérieur à l'extérieur.

Indiquons le temps pendant lequel dure le courant de la grenouille. On obtient rarement les contractions en mettant en contact les muscles et les nerfs, quand l'animal est préparé depuis 15 à 20 minutes. Tandis qu'au galvanomètre le courant est encore sensible au bout de deux heures, comme M. Matteucci l'a constaté; au bout de 8 ou 10 minutes la déviation est réduite à moitié. Une pile de six gre-

nouilles, qui donnait au commencement une déviation de 16°, ne donnait plus que 6° au bout de 50 minutes; au bout de 24 heures, 2 à 3°. En mouillant les grenouilles préparées depuis longtemps avec de l'eau salée, il n'y a pas d'augmentation dans l'intensité du courant.

Les courants obtenus avec les seules jambes ou avec des morceaux de cuisses coupées, persistent moins longtemps que ceux provenant de grenouilles entières. En plongeant les grenouilles préparées dans différents gaz, tels que le gaz acide carbonique et l'oxygène, les effets sont les mêmes qu'en opérant dans l'air.

On détruit le courant propre, en tenant pendant quelques minutes la grenouille préparée dans de l'eau presque bouillante. M. Matteucci a prouvé que les actions chimiques résultant de la réaction du liquide sur les parties de la grenouille qui sont plongées dedans sont sans influence sur la production du phénomène.

M. Matteucci, en examinant si le courant propre de la grenouille et les contractions avaient une origine commune, a été conduit à ce principe, que les circonstances qui modifient l'un agissent également sur les autres. De sorte que ces deux classes de phénomènes sont dans une dépendance commune. Enfin, et comme conséquence des expériences précédentes, nous ne devons pas oublier de mentionner un fait qui n'est pas sans importance pour l'intelligence du sujet que nous traitons, c'est que le courant de la grenouille observé avec le multiplicateur, en se servant de deux capsules remplies d'un même liquide, a la même direction quand on prend pour liquide de l'eau distillée, de l'eau acidulée, de l'eau alcalisée, etc., pourvu toutefois que les solutions ne soient pas concentrées au point de réagir sur les parties animales En outre, ce courant conserve sa direction et son intensité, en changeant le contact de ces parties avec les liquides; de telle sorte qu'on a les mêmes résultats avec la grenouille sans nerfs, la demi-grenouille ou la seule jambe. Le courant est toujours dirigé dans le même sens, il n'y a de différence que dans l'intensité, les liquides les plus conducteurs donnant toujours la plus forte intensité.

Des lois suivant lesquelles varie le courant musculaire. Influence de la température sur l'intensité de ce courant.

Lorsque la température est à zéro, les signes de courant musculaires sont beaucoup plus faibles qu'à l'ordinaire, tandis que les effets sont plus marqués lorsque les grenouilles sont conservées dans

une pièce chaude. Rien n'est plus simple que de mettre ce fait en évidence en refroidissant des grenouilles avec de la glace. M. Matteucci a expérimenté avec une pile de dix éléments, composée de demi-cuisses de grenouilles exposées à une température de zéro pendant une demi-heure. Cette pile fut opposée à une autre, composée d'un même nombre de grenouilles non refroidies. Le courant différentiel produisit une déviation de 35 à 40°, en faveur de la dernière. La pile de grenouilles refroidies produisait, prise isolément, une déviation de 15 à 16°, et l'autre 45°. L'action d'un abaissement de température ne se fait sentir que lorsque les grenouilles ont été exposées à l'action du froid pendant quelque temps. Des grenouilles refroidies brusquement pendant quelques minutes, puis plongées ensuite dans de l'eau à 15°, produisent les mêmes effets que si elles fussent restées à la température ordinaire. On voit donc qu'il est nécessaire, pour affaiblir l'intensité du courant musculaire, que l'action du froid soit prolongée. Sur les animaux à sang chaud, l'influence du froid sur le courant musculaire paraît moins grande que sur la grenouille et les animaux à sang froid. Le courant musculaire est d'autant plus intense que les muscles des grenouilles sont plus rouges et plus consistants.

L'influence du système nerveux sur le courant musculaire n'est pas sans intérêt. Il résulte des expériences de M. Matteucci, que ce courant ne varie ni dans sa direction ni dans son intensité, quand on altère l'intégrité du système nerveux moteur et sensorial. Ayant introduit dans l'estomac d'un certain nombre de grenouilles, 10 à 12 gouttes d'une solution aqueuse d'extrait d'opium ou d'extrait alcoolique de noix vomique, elles ne tardèrent pas à s'assoupir. Deux piles de demi-cuisses de grenouilles furent formées afin de les opposer l'une à l'autre. Les éléments d'une de ces piles étaient composés avec des grenouilles ordinaires; l'autre, avec les muscles des grenouilles assoupies par les narcotiques. On n'obtint point de signes constants et assez marqués du courant différentiel. Ainsi l'action des narcotiques est à peu près nulle sur l'intensité du courant musculaire. Avec les muscles des animaux à sang chaud, même résultat. Il en est encore de même quand les animaux ont été asphyxiés par le gaz acide carbonique. M. Matteucci n'a trouvé qu'un seul gaz délétère, l'hydrogène sulfuré, qui exerçât une influence. La pile formée avec les grenouilles ordinaires donnait une déviation de 30°, tandis que celle formée avec les grenouilles tuées dans l'hydrogène sulfuré n'en donnait qu'une de 5 à 6°, dans le sens du courant musculaire.

Enfin, il résulte des expériences de M. Matteucci, que le courant de

la grenouille subsiste sans la présence et l'intégrité du système cérébro-spinal. Si le système nerveux intervient dans l'expérience, il se comporte absolument comme masse musculaire de la cuisse, c'est-à-dire comme corps conducteur ; que le courant propre perd de sa force quand il est dans une espèce d'état tétanique; enfin, que l'intensité du courant propre est modifiée par les différents états du sang dans les muscles.

Du courant propre dans les animaux à sang chaud.

On obtient dans la grenouille vivante les effets du courant propre en découvrant les muscles de la jambe ainsi que les nerfs spinaux, et mettant en contact les uns avec les autres et plaçant un multiplicateur dans le circuit; mais pour observer le courant propre dans les animaux à sang chaud, au lieu de cet appareil, il vaut mieux se servir d'une grenouille préparée de la manière suivante: On dispose une grenouille comme à l'ordinaire; on la coupe longitudinalement, ainsi qu'il a déjà été dit, on enlève ensuite l'os et tous les muscles du bassin, afin d'avoir une jambe unie à un long filet nerveux. Cette jambe est soutenue avec un tube verni. Ces dispositions faites, on fait une incision dans un muscle d'un animal vivant, et l'on fait descendre dans l'intérieur le nerf de la jambe que l'on tient isolé, au moyen du tube de verre. En remuant très-peu le filet nerveux, on obtient aussitôt de fortes contractions dans la grenouille, qui se manifestent toujours quand un des points du filet nerveux touche le fond de la blessure, et qu'un autre point est en contact avec les bords. M. Matteucci attribue les effets produits dans cette circonstance, à un courant électrique circulant dans les filets nerveux et provenant des différentes parties musculaires de l'animal vivant. Il se fonde, à cet égard, sur ce fait que, lorsque le filet est préparé avec soin, on ne parvient jamais à faire contracter la jambe, en formant un arc avec deux points de ce nerf et un liquide conducteur non capable d'irriter le nerf. L'effet que nous venons d'indiquer se manifeste pendant longtemps, même sur des masses musculaires séparées de l'animal ; la grenouille surtout conserve cette faculté le plus longtemps. D'après M. Matteucci, cette persistance dans la production des effets éprouve des variations avec la saison et l'état de vitalité de l'animal : elle existe encore en hiver 12 ou 15 heures après la mort, alors que les contractions ne se manifestent plus. Le phénomène une fois anéanti, ne se reproduit plus, quand on mouille la

blessure avec un liquide non irritant. Ainsi, sa non production ne doit pas être attribuée à un desséchement des parties. Nous rapporterons encore un fait qui met en évidence l'existence, dans un animal vivant à sang chaud, d'un courant analogue à celui de la grenouille. On sépare les deux cuisses d'un lapin vigoureux, et l'on prépare rapidement une portion assez longue du nerf de ces cuisses. On soulève ce nerf avec un tube de verre et on le fait ensuite tomber sur la masse musculaire des jambes; la cuisse se contracte toujours fortement dans l'espace de deux ou trois minutes. Une pile formée en posant le nerf d'une des cuisses sur le muscle de l'autre, ainsi de suite, donne des effets analogues à ceux de la pile formée avec la grenouille. MM. Paccinotti et Puccinotti avaient déjà fait des expériences qui rentrent dans les précédentes : ils introduisirent une des lames d'un multiplicateur dans le cerveau d'un animal vivant, et l'autre dans un muscle; ils observèrent un courant dirigé du cerveau au muscle. La même expérience, répétée par M. Matteucci sur des lapins et des pigeons, lui a donné des déviations qui allaient jusqu'à 90°; il en était encore de même sous le rapport de l'intensité et de la déviation en plongeant une des lames dans le cerveau et plaçant l'autre sur la surface du muscle. De semblables courants ont été également obtenus en mettant à nu le muscle de la poitrine ou de la cuisse d'un animal vivant; plongeant, dans une incision qu'on avait faite, une des lames, et en mettant l'autre sur la surface mise à nu, le courant était dirigé de l'intérieur à l'extérieur. Nous devons faire remarquer qu'il est nécessaire de se mettre en garde contre les causes pouvant produire des courants secondaires, telles que la polarité des lames de platine, avant l'expérience. Mais pour mieux montrer que le phénomène ne pouvait être attribué à des causes secondaires, M. Matteucci a construit des piles avec les parties mêmes qui produisaient un courant dans les animaux vivants. A cet effet, il a dépouillé des cuisses de pigeons nouvellement tués, et en a formé des piles en les plongeant dans des petits verres d'eau salée, de manière que dans chaque petit verre se trouvassent plongés le muscle d'une des cuisses privé ou non de ses filaments nerveux, et le tendon de la jambe appartenant à la cuisse suivante. Le liquide employé était tantôt de l'eau légèrement salée, tantôt de l'eau légèrement acidulée. Cette pile a donné toujours avec le multiplicateur les signes d'un courant constamment dirigé, dans l'animal, de la masse musculaire de la cuisse ou du nerf qui est ramifié à la surface externe des muscles de la jambe. Ce courant dirigé en sens contraire du courant propre de

la grenouille, n'augmente pas en raison des masses musculaires qui le produisent, mais bien avec le nombre d'éléments qui composent la pile. Voici les résultats de la comparaison des effets obtenus avec les grenouilles et les animaux à sang chaud. 1° Dans les unes comme dans les autres il y a courant électrique lorsque la partie interne d'une face musculaire et sa surface externe sont mises en communication avec un arc métallique; 2° le nerf qui appartient à une masse musculaire et tout le système cérébral, peuvent faire l'office de la partie interne du muscle dans lequel le nerf est distribué; 3° le courant est dirigé de l'intérieur du muscle ou nerf à la surface ou son tendon. Nous ajouterons enfin que le courant propre cesse quelque temps après la mort de l'animal, et d'autant plus promptement que l'animal appartient à un ordre plus élevé dans l'échelle animale. D'où peut donc provenir ce courant propre, soit dans les grenouilles, soit dans les animaux à sang chaud, dont l'existence nous est attestée par un si grand nombre de faits? Nous en indiquerons plus loin la cause, à laquelle il faut rapporter probablement les courants électriques observés par M. Donné, en plaçant sur la peau une lame de platine en relation avec une des extrémités d'un multiplicateur et dans la bouche une autre lame en relation avec l'autre extrémité; ou bien l'une dans l'estomac d'un lapin ou d'un autre animal, et l'autre dans le foie. Dans la première expérience, la bouche étant alcaline et la peau sécrétant un liquide acide, on en avait conclu que le courant était dû à la réaction de la salive sur les liquides environnants, et à celle du liquide acide sur les parties adjacentes. Il en était de même dans la seconde expérience, puisque l'estomac sécrète un acide et le foie un liquide alcalin.

On doit à M. Matteucci l'observation d'un fait remarquable qui a rapport au courant propre de la grenouille et dont nous ne pouvons nous dispenser de parler ici. On pose sur un plan isolé une grenouille préparée à la manière de Galvani; puis on en prépare une autre de manière à n'avoir qu'une jambe avec le filet ou faisceau nerveux. On pose ce filet sur les cuisses de la première grenouille, de manière que le filament de la jambe auquel il tient ne touche pas les cuisses, et ne soit pas tendu. Si l'on fait contracter la grenouille, en faisant passer un courant dans le nerf lombaire, on voit aussitôt se contracter la jambe dont le nerf est couché sur un muscle. Cet effet a encore lieu quand on fait contracter la grenouille en irritant mécaniquement les nerfs lombaires; l'expérience réussit aussi en posant le nerf sur les

muscles de la cuisse d'un lapin vivant, que l'on fait ensuite contracter par un moyen quelconque.

Les contractions ne se manifestent pas quand on interpose une lame d'or très-mince entre les muscles et le nerf, ou bien un corps isolant; tandis qu'en substituant à la lame d'or une bande de papier très-fin, le phénomène se produit. Nul doute qu'on ne doive l'attribuer à un courant dérivé; mais d'où provient-il? Voici ce que nous pouvons dire à cet égard. A l'instant où la grenouille se contracte, nous sommes portés à croire qu'il y a une décharge électrique, dont une partie passe par l'extrémité du nerf de la jambe, quand cette extrémité pose sur le muscle, ou n'en est séparée que par une bande de papier humide; et par conséquent elle affecte ce nerf, de manière à faire contracter la jambe. Avec la feuille d'or, il n'en est plus de même, attendu qu'étant plus conductrice que le nerf, toute la décharge la traverse; fait analogue à celui que l'on observe en plaçant une torpille sur un plat de métal que l'on tient à la main: dans ce cas, la décharge passe dans le métal et non dans la main; enfin l'interposition d'un papier isolant empêche le courant de traverser le nerf. Tous ces effets ne sauraient être produits que par des courants dérivés. Il semblerait donc, d'après cela, qu'il y a production d'une décharge à l'instant où le muscle se contracte. Cette observation de M. Matteucci n'est pas, comme on le voit, sans importance pour la physiologie.

Rien ne prouve, jusqu'ici, que l'électricité circule dans les filaments nerveux répandus dans les muscles des animaux vivants, de manière à donner des courants dérivés, soit avec le multiplicateur, soit avec la grenouille. Tout ce qu'on peut conclure des faits recueillis, comme l'observe judicieusement M. Matteucci, c'est que les causes qui déterminent le courant se trouvent dans les masses musculaires, et que l'on n'obtient un courant qu'en établissant un circuit avec un conducteur quelconque, entre des parties de ces masses qui diffèrent très-probablement entre elles de structure et de fonction. Il paraît en outre que la cause du courant réside particulièrement dans l'organisation de la fibre musculaire vivante, ainsi que dans l'action, quelle qu'elle soit, qui la maintient dans son état organique, et par suite dans le dégagement d'électricité produit pendant l'action physico-chimique de la nutrition. Voilà comment M. Matteucci s'exprime à cet égard :

« Le sang artériel en contact avec la fibre musculaire, sous la puissance nerveuse, est altéré, et il arrive un changement dans la fibre

musculaire même ; cette action doit dégager de l'électricité, qui ne se réduit par pour cela en courant électrique, de même qu'il n'y a pas de courant électrique produit par l'action chimique d'un liquide acide sur une lame de zinc qui y est plongée ; dans ce cas nous admettons que le dégagement d'électricité est très-grand, mais que les deux électricités contraires se recomposent immédiatement sur la surface même des deux corps qui les développent. Pour que le courant existe, il faut établir un arc conducteur entre le liquide et le métal attaqué. Dans toutes les expériences décrites et tentées sur les grenouilles et sur les autres animaux, nous obtenons le courant en établissant cet arc avec le fil du galvanomètre ou avec les parties mêmes des grenouilles. Le système nerveux opère dans ces expériences de deux manières bien distinctes, c'est-à-dire d'une manière purement physique et d'une autre que nous appellerons physiologique. Chaque nerf représente tous les points de la masse musculaire où il se distribue, et fait par là le même office qu'un fil métallique qu'on suppose répandu, avec un très-grand nombre de ramifications, dans un muscle ; le système nerveux agit aussi pour la conservation de la cause qui dégage l'électricité, car la nutrition s'opère sous son influence. Pour cela l'intégrité du système nerveux n'est pas directement nécessaire dans la production du courant électrique des animaux, mais plus ou moins, suivant que la vie de l'animal est plus ou moins centralisée. »

CHAPITRE VII.

Des contractions obtenues par l'excitation galvanique sur l'homme et les grands animaux, après une mort violente; théorie des contractions.

Lors des grandes découvertes de Galvani et de Volta, on multiplia les expériences dans le but de démontrer qu'au moyen de l'électricité on pourrait reproduire les mouvements et les contractions dus à l'acte de la volonté. Galvani expérimenta sur une tête de bœuf, récemment tué, avec une pile à colonne composée d'éléments argent et zinc, et chargée avec de l'eau salée. Une des oreilles fut mise en communication avec l'un des pôles, et l'autre avec le nazeau ; aussitôt les yeux

s'ouvrirent, les oreilles se dressèrent, la langue s'agita, et les nazeaux s'enflèrent.

Aldini montra ensuite que, pour obtenir les plus fortes contractions, il fallait établir l'arc des oreilles à la moelle épinière ; dans ce cas, les paupières s'ouvraient, le globe de l'œil roulait sur lui-même comme dans la plus violente fureur. Le Dr Andrew Ure, en opérant sur le corps d'un pendu, immédiatement après l'exécution, avec une pile de 270 plaques, chargée avec de l'eau acidulée avec l'acide sulfurique et l'acide nitrique, un des pôles ayant été mis en communication avec la moelle épinière, l'autre avec le nerf sciatique, à l'instant même tous les muscles du corps se contractèrent de mouvements convulsifs. En faisant mouvoir un des conducteurs de la hanche au talon le genou plié, la jambe fut lancée avec tant de violence qu'elle faillit renverser une personne qui avait essayé de prévenir l'extension. Le Dr Ure parvint à imiter jusqu'à un certain point le jeu des poumons; en faisant passer le courant de la moelle épinière au nerf uluaire, on vit aussitôt les doigts se mouvoir avec agilité; en faisant passer la décharge d'une oreille à l'autre, en les humectant d'eau salée, les muscles du visage éprouvèrent d'horribles contractions ; l'action des paupières fut très-marquée. Ces mouvements étaient désordonnés, et ne représentaient qu'imparfaitement ceux qui ont lieu sous l'empire de la vie. Les expériences d'Aldini n'ont rien présenté sur l'homme après la mort naturelle, par la raison qu'arrivant lentement, les fonctions vitales s'étaient anéanties peu à peu.

Théorie des contractions dues aux agents physiques, fondée sur les principaux faits connus.

Nous avons cherché à mettre sous les yeux du lecteur, les faits les plus importants relatifs à l'action physiologique de l'électricité. Il ne reste plus qu'à exposer la théorie des contractions, telle que nous la concevons.

On a pu voir que pour faire contracter un muscle, il fallait irriter le nerf correspondant, en un point quelconque de son trajet, avec un caustique, un scalpel, la chaleur, l'électricité, etc. Cette propriété du nerf nous indique qu'il suffit du déplacement de quelques-unes de ses parties organiques pour déterminer un ébranlement général de toutes les autres, lequel est transmis immédiatement aux particules organiques du muscle par l'intermédiaire des ramifications nerveuses. Pour concevoir cette transmission du mouvement, il faut se rappeler ce que nous avons dit touchant la constitution des nerfs et des mus-

cles, ainsi que sur les propriétés que manifestent les premiers quand ils sont parcourus par des courants électriques.

On a vu que la matière nerveuse renfermée sous le névrilème est composée d'un grand nombre de petits filaments parallèles, dans lesquels on distingue des fibres formées de globules élémentaires. Le muscle paraît avoir une constitution analogue, puisqu'il est composé de plusieurs ordres de fibres, dont la plus simple est formée d'une série de globules de même diamètre.

D'un autre côté, les phénomènes physiologiques produits sous l'influence de l'électricité nous révèlent un fait extrêmement important; c'est que le nerf n'a pas une constitution homogène dans les deux sens de sa longueur, puisqu'un courant électrique d'une intensité peu considérable le parcourt facilement dans le sens des ramifications, et produit des contractions, tandis qu'il y a de la douleur dans le sens opposé. Or, nous savons d'un autre côté, que, lorsque l'électricité positive chemine dans un liquide médiocre conducteur, et qu'elle rencontre sur son passage des obstacles qui retardent sa marche, elle les chasse devant elle, les renverse même, tandis que l'électricité négative ne produit rien de semblable, du moins entre certaines limites. En rapprochant cette observation de la précédente, on peut en tirer la conséquence, que quand le courant chemine dans le sens opposé aux ramifications nerveuses, s'il rencontre des obstacles qui retardent sa marche, il doit faire effort pour les écarter.

L'expérience nous ayant aussi démontré qu'un nerf ébranlé en un point quelconque de son trajet, ou traversé par un courant électrique dans le sens de ses ramifications, n'éprouve ni contraction, ni dérangement apparent, lors même que le muscle est fortement agité, nous devons admettre que son action consiste à transmettre rapidement au muscle une impulsion donnée, à peu près comme le fait une boule d'ivoire en contact avec une série de boules disposées en ligne droite, et qui leur communique à toutes successivement jusqu'à la dernière, la quantité de mouvement qu'on lui a donnée, sans que les boules intermédiaires éprouvent un dérangement quelconque. L'organisation fibrillaire et globulaire du nerf justifie cette allégation, en supposant toutefois aux globules élémentaires une élasticité parfaite.

Cet ébranlement se propageant rapidement dans tous les filets nerveux dont chaque fibre musculaire est pourvue, fait entrer celle-ci en contraction. En effet, les fibres musculaires se trouvant dans une direction sensiblement perpendiculaire à celle des filets nerveux, doivent éprouver un déplacement assez considérable quand les parties

constituantes de ces derniers sont ébranlées. Voilà comment on peut concevoir le phénomène des contractions mécaniquement parlant, c'est-à-dire en ne mettant en jeu que les particules matérielles des nerfs et des muscles, au moyen des excitants ordinaires.

En faisant intervenir l'électricité, on doit avoir des effets du même genre; aussi ont-ils plus d'intensité quand un nerf est traversé par un courant. Que se passe-t-il? Ce courant ébranle sur-le-champ ces molécules organiques, il les écarte et les tient distendues. Voilà ce que nous savons des effets mécaniques de l'électricité.

Cette distension subsiste pendant tout le temps que circule le courant, et alors il ne se manifeste pas de contractions. Mais vient-on à ouvrir le circuit, il se manifeste aussitôt des contractions dues au retour immédiat des mêmes parties à leur état primitif d'équilibre, si toutefois elle a été de courte durée, et d'une faible intensité. Car dans le cas contraire, les parties organiques ayant été longtemps dans un état forcé, ne reprennent celui de repos qu'au bout d'un certain temps. Il faut admettre, bien entendu, que le passage de l'électricité n'a produit aucun désordre résultant d'effets physiques ou chimiques. On se rend facilement compte pourquoi les effets physiologiques sont plus énergiques que ceux produits par les autres moyens d'excitation appliqués en un point quelconque : le courant, en parcourant le nerf, affecte tous les points, tandis que tous les autres stimulus ne peuvent être appliqués qu'en quelques points.

Les observations faites jusqu'ici nous représentent donc les molécules organiques des muscles et des nerfs, comme se trouvant dans un état d'équilibre instable, que la cause la plus légère dérange. Cette instabilité cessant aussitôt que les mêmes particules sont soumises à l'influence des forces propres à la nature inorganique, serait donc un des attributs de la vie.

CHAPITRE VIII.

Emploi de l'électricité dans l'étude de la physiologie.

De l'emploi de l'électricité pour distinguer les nerfs du mouvement des nerfs du sentiment.

Dans toutes les expériences que nous avons rapportées touchant l'in-

fluence de l'électricité pour provoquer des contractions ou un sentiment de douleur, nous avons fait abstraction des agents du mouvement et du sentiment qui ont leur siége dans le système nerveux, et que l'électricité met également en action. Cette distinction doit être prise en considération par le physicien; sans quoi il court le risque d'attribuer à une propriété particulière de l'électricité des effets qui ne sont que le résultat de son action sur chacun des deux systèmes nerveux en question.

Charles Lebel est le premier qui ait signalé l'existence de ces deux systèmes nerveux, qui ont été ensuite étudiés par MM. Magendie et Muller, et dans ces derniers temps par M. Longet, dont les expériences ont dissipé les doutes que les physiologistes conservaient encore à l'égard de quelques phénomènes qui s'y rapportent.

Voici en quoi consiste le fait principal. Si l'on fait passer presque transversalement un courant dans l'épaisseur d'un cordon nerveux, venant d'être séparé de l'axe cérébro-spinal, les muscles ne se contractent qu'autant que ce cordon a pour fonction de présider au mouvement. Il y a, au contraire, absence de contraction, s'il préside à la sensibilité. Il est nécessaire pour mettre en évidence ce double effet que le courant ne soit pas trop intense; car autrement, en opérant sur les racines postérieures, le courant passerait dans les racines antérieures. L'électricité vient donc en aide au physiologiste, en mettant entre ses mains un agent à l'aide duquel il peut distinguer les filets nerveux du mouvement, et les filets sensitifs qui s'anastomosent entre eux. Citons d'après M. Longet (*Anatomie, physiologie du système nerveux*) quelques exemples de ces deux espèces de filets nerveux. Des ramifications du nerf facial et de la portion ganglionaire du trijumeau pénètrent les muscles de la face; le facial est un nerf de mouvement, le trijumeau un nerf de sensibilité : en faisant passer dans l'un et dans l'autre successivement un courant transverse, on a, avec le premier, contraction des traits; avec le second, immobilité absolue. Les expériences ont été faites dans la même direction pour distinguer les nerfs du mouvement des nerfs du sentiment; sur les racines des nerfs spinaux, les différents nerfs crâniens, le grand sympathique, la moelle épinière et l'encéphale.

Mulier, dès 1731, avait prouvé que l'excitation des racines postérieures des nerfs spinaux, au moyen de courants transversaux dans la grenouille, ne produisait jamais que de la douleur, et celle des racines antérieures, des contractions. M. Longet a démontré nettement

chez d'autres animaux, le chien, par exemple, les propriétés différentes des racines spinales, dans les nerfs crâniens et encéphaliques.

M. Magendie avait reconnu que les nerfs de sensation spéciale ne produisaient aucune douleur en les irritant mécaniquement. M. Longet fit voir qu'il en était encore de même sous l'influence de l'électricité. On peut rapporter à ces nerfs, 1° les effets observés par Volta, en armant à la fois l'intérieur de la bouche et la face interne des paupières; dans ce cas on éprouve une sensation sapide et lumineuse ; 2° ce qui se passe en dirigeant transversalement un courant d'une oreille à l'autre, d'où résulte un son déterminé ; 3° l'espèce d'odeur phosphorée perçue quand on irrite au moyen de l'électricité les fosses nasales.

Les nerfs de sensibilité générale ont été l'objet d'une étude approfondie de la part de M. Longet; mais pour faire connaître les résultats qu'il a obtenus, il faudrait entrer dans des détails physiologiques qui ne sont pas de notre ressort. Le but que nous nous proposons est d'indiquer seulement quelques faits généraux, capables de nous faire connaître le rôle que joue l'électricité à l'égard des deux espèces de nerfs dont nous nous occupons. Nous nous arrêterons cependant sur le grand sympathique, en raison de son importance dans les phénomènes de la vie. Plusieurs physiologistes étaient déjà parvenus à faire contracter le cœur, lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers la partie cervicale du grand sympathique. Burdach, en galvanisant les grands nerfs splanchniques chez des chiens, est parvenu à réveiller quelquefois très-énergiquement les mouvements du canal intestinal quand l'intestin renfermait des matières alimentaires, tandis que lorsqu'il était vide, l'action était nulle. M. Longet a observé de semblables effets relativement à l'influence de la huitième paire sur les mouvements de l'estomac.

Dans l'action de l'électricité sur le système nerveux central, les expériences de M. Longet ont porté particulièrement sur la moelle épinière et l'encéphale. Après avoir coupé transversalement au niveau de la dernière vertèbre dorsale, la moelle épinière, de manière à obtenir deux segments, l'un caudal, l'autre céphalique, il a obtenu avec l'action électrique les résultats suivants sur les diverses parties du segment caudal. 1° *Faisceau postérieur*. Quelques minutes après la section faite en appliquant les deux pôles d'une pile faiblement chargée, d'abord à un faisceau postérieur, puis ayant placé un pôle sur un faisceau, et un autre sur un autre faisceau postérieur, les membres pelviens n'ont donné aucune trace de contraction dans ces deux cas. 2° *Faisceau antérieur*. En opérant de la même manière, soit sur

un, soit sur deux faisceaux, il en résulta de vives contractions musculaires dans un seul membre abdominal ou dans les deux à la fois.

Relativement à l'encéphale, M. Longet en opérant à l'aide de faibles courants dans la substance grise périphérique ou corticale, soit des lobes cérébraux, soit du cervelet dans le chien ou le lapin, n'a jamais obtenu aucun signe de contraction ou de douleur; il en a été encore de même en agissant sur la substance blanche ou médullaire, pourvu toutefois que la moelle épinière ne fût pas affectée par les courants; en agissant au contraire sur les tubercules quadrijumeaux, il a obtenu des contractions dans les membres ainsi que dans l'Iris.

L'existence des nerfs du mouvement et des nerfs du sentiment étant bien constatée, on peut se demander si, dans l'expérience de M. Marianini, au moyen de laquelle on démontre que lorsque le courant chemine dans la grenouille, de la tête aux extrémités, il y a contraction, et douleur quand il va dans un sens opposé; on peut se demander, disons-nous, si ces deux effets ne dépendraient pas en partie de l'action exercée par l'électricité sur ces deux espèces de nerfs. Nous ne le pensons pas, voici nos motifs. La grenouille restant constamment dans la même position dans les deux expériences, les nerfs du mouvement et ceux du sentiment sont affectés en même temps par le courant dirigé tantôt dans un sens, tantôt dans un autre; il faudrait donc admettre que chaque espèce de nerf reçoit une action différente, suivant le sens du courant, c'est-à-dire que pour les nerfs du mouvement, il y aurait contraction quand le courant va de la tête aux pieds, et nul effet en cheminant en sens inverse; or, l'expérience ne justifie pas cette supposition. Quoi qu'il en soit, dans les expériences où l'on a pour but d'observer les effets de contraction et de sensation produits au moyen des forces électriques, il faut avoir égard aux fonctions qu'accomplissent les nerfs du mouvement et les nerfs du sentiment.

Action des courants sur différents tissus.

Iris. — Cette membrane se contracte avec une extrême facilité sous l'influence des courants, comme l'ont démontré Fowler, Reinhold et Nysten.

Artères et veines. — L'aorte, d'après Nysten, n'est point affectée sensiblement par le courant, tandis que les veines caves dans le voisinage de l'oreillette sont affectées sensiblement; mais comme elles

sont adhérentes à des fibres musculaires bien apparentes sur de grands animaux, ces expériences ne prouvent rien relativement aux veines qui sont insensibles à l'action voltaïque.

Canal thoracique. — Absence de contractions.

Conduit excréteur des glandes. — Tantôt on a obtenu des contractions, tantôt des effets négatifs.

Peau et corps caverneux. — Absence de contractions.

Vésicule séminale. — Celle du cochon d'Inde se contracte par une espèce de mouvement péristaltique, analogue à celui des intestins.

Cil vibratile. — On désigne ainsi les mouvements vibratiles qui se manifestent pendant la vie, et quelque temps après la mort sur certaines surfaces muqueuses. Le courant a la propriété, quand il a une certaine énergie, de faire cesser ces mouvements, qui recommencent après quelques instants de repos, comme nous l'avons observé sur les membranes muqueuses de l'huître. Bien entendu que dans toutes ces expériences le courant ne doit pas avoir assez d'énergie pour désorganiser les corps sur lesquels on expérimente.

Des impressions produites sur les nerfs par le passage du courant.

Le courant produit des sensations dépendantes de la nature de l'organe affecté; il fait naître dans l'oreille la sensation du son. Volta ayant fait passer d'une oreille à l'autre la décharge de 40 couples, éprouva un ébranlement tel dans le cerveau, qu'il entendait un sifflement semblable à celui d'une matière visqueuse en ébullition. Ritter entendait au moment de la fermeture de la chaîne un son correspondant à sol [3]. Quand il n'avait qu'une seule oreille dans le circuit, l'un des pôles lui faisait entendre un son plus grave, et l'autre un son plus aigu. On peut déterminer l'apparence lumineuse en armant les deux surfaces de la langue, l'une d'une lame de zinc, l'autre de cuivre, et mettant les deux lames en contact; on peut la produire également en appliquant une armature à chacun des yeux, ou une dans les fosses nasales et l'autre à l'un des yeux, ou bien l'une à la langue et l'autre aux gencives supérieures.

M. de Humboldt, en répétant cette expérience, qui est due à Hunter, a éprouvé à diverses reprises sur lui-même une faiblesse momentanée des yeux, et même une inflammation analogue à celle que l'on éprouve quand ils sont fatigués par la lecture.

Le docteur Monro était tellement excitable à l'action galvanique, qu'il saignait du nez quand, ayant placé un morceau de zinc dans les

fosses nasales, il le mettait en contact avec une lame de cuivre posée sur la langue. L'hémorrhagie commençait aussitôt que la lueur paraissait.

Quant à l'action du courant sur les organes du goût, elle résulte en partie de l'impression résultant des principes acides et alcalins, séparés par le courant et agissant sur la langue. C'est ainsi que Volta, en analysant les saveurs produites sur cet organe, lorsque la partie supérieure et la partie inférieure étaient armées métalliquement, trouva que les saveurs variaient depuis le goût acide brûlant jusqu'à l'alcalin amer. Enfin, pour compléter ce que nous avons à dire touchant les sensations produites par l'électricité, nous rapporterons les expériences de M. de Humboldt qui ont eu de la célébrité. M. de Humboldt se fit appliquer deux vésicatoires sur les muscles deltoïdes, et sur les deux plaies deux armatures métalliques. A l'instant où les deux métaux furent mis en contact, les muscles de l'épaule et du cou se contractèrent alternativement, et il en résulta une forte cuisson; aussitôt que la vésicule formée par le vésicatoire fut ouverte, M. de Humboldt distingua 3 ou 4 coups simples. Les deux plaies étant restées une demi-heure à l'air, et le réseau de Malpigi s'étaut endurci, le contact ne produisit plus qu'une seule contraction. En répandant quelques gouttes d'une solution alcaline sur l'un des métaux, les douleurs devinrent très-violentes, et les contractions se renouvelèrent plusieurs fois de suite, dans l'espace d'une ou deux secondes, tandis que la cuisson se prolongea sans interruption et au même degré tant que le circuit resta fermé. Cette sensation douloureuse était due très-probablement à l'action des acides et des alcalis mis en liberté par l'action décomposante du courant. Dans la première expérience, M. de Humboldt fit passer le fil conducteur dans la bouche, entre la lèvre supérieure et les dents: à l'instant où le circuit fut fermé, le muscle trapézoïde se contracta avec beaucoup d'énergie; il éprouva alors une cuisson et une pulsation douloureuse dans l'épaule, et il aperçut devant ses yeux une lueur comme un éclair.

Il résulte évidemment de toutes ces observations que, lorsqu'on cherche à analyser les sensations produites par l'électricité, il faut toujours avoir égard à deux choses: à l'effet physiologique produit par l'ébranlement, l'excitation du système nerveux, et à l'effet résultant de l'action chimique produite par les agents acides et alcalins, séparés par l'action électro-chimique. Ces deux effets sont toujours concomitants; mais le premier peut être distingué du second, en ce que celui-ci, dans les premiers instants, est très-faible. Les

personnes qui cherchent à appliquer l'électricité à la médecine n'établissent pas malheureusement cette distinction ; pour elles, il n'y a qu'un seul effet, et certes il n'en est pas ainsi. Il peut y avoir des inconvénients à ne pas y avoir égard. Nous y reviendrons en parlant des applications du galvanisme à la médecine.

CHAPITRE IX.

Des poissons électriques.

Le lecteur a pu voir, dans l'exposé que nous avons fait de l'action physiologique de l'électricité, jusqu'à quel point l'électricité peut intervenir dans les phénomènes de la vie. Mais si l'on parvient un jour à découvrir que son influence est plus grande que celle que nous lui supposons aujourd'hui, ce sera sans aucun doute en étudiant la propriété singulière que possèdent certains poissons de donner, quand on les touche avec la main, une commotion semblable à celle de la bouteille de Leyde, et en rapprochant les effets produits avec ceux que l'on peut obtenir avec les autres animaux, à l'aide des forces électriques. Nous n'avons nullement l'intention de donner un précis historique des phénomènes produits par les poissons électriques, phénomènes en partie connus depuis la plus haute antiquité, surtout à l'égard de la torpille, attendu qu'on trouvera ce précis dans notre Traité d'électricité, tome IV, page 255. Ici il ne sera seulement question que des phénomènes généraux ainsi que de leur analyse.

On distingue trois espèces de poissons électriques, le gymnote, la torpille et le silure, qui donnent une commotion quand on les irrite en certaines parties, pourvu toutefois que l'on ne les touche pas avec un corps non conducteur de l'électricité. M. de Humboldt, qui a observé les effets du gymnote dans le caño de Bera en Amérique, a reconnu que lorsque deux personnes isolées ou non isolées se donnent la main, et que l'une d'elles seulement touche le poisson, elles ressentent l'une et l'autre la commotion. Les coups les plus vigoureux sont particulièrement ressentis par la personne qui est en contact immédiat avec le poisson. Dans la localité où M. de Humboldt a fait ses expériences, la température était de 26 à 27°. Il paraît que la faculté du gymnote de donner la commotion, est moindre dans les régions moins chaudes. Spéci-

fions davantage les effets produits. Quand on touche l'animal avant qu'il soit blessé ou fatigué, la douleur et l'engourdissement sont si violents qu'il est difficile de se prononcer sur la nature de la sensation qu'on éprouve. M. de Humboldt dit n'avoir jamais reçu par la décharge d'une grande bouteille de Leyde une commotion plus énergique que celle qu'il ressentit en plaçant ses deux pieds sur un gymnote nouvellement pêché. Il éprouva longtemps une vive douleur dans les genoux et dans toutes les articulations; avec des gymnotes très-affaiblis, on éprouve un tressaillement depuis la portion en contact avec le poisson, jusqu'à l'articulation la plus voisine. En général on croit sentir à chaque coup une vibration interne pendant quelques secondes, et à laquelle succède un engourdissement douloureux. Le phénomène est soumis à la volonté de l'animal, car il arrive souvent qu'on le touche dans les parties où réside l'organe principal sans éprouver aucun effet.

La torpille ou raie électrique a été l'objet d'un plus grand nombre d'expériences, par la raison que nous la trouvons dans les bas-fonds ou eaux stagnantes, sur les côtes des mers d'Europe. Nous en avons donné l'anatomie, tome Ier, page 361 ; nous y renvoyons le lecteur pour l'intelligence de tout ce que nous allons dire. MM. Gay-Lussac et de Humboldt sont les premiers qui aient bien précisé les circonstances principales du phénomène. Quand la torpille lance sa décharge, elle remue convulsivement les nageoires pectorales, mais on n'aperçoit que des mouvements à peine sensibles dans tout son corps. M. Matteucci s'est assuré que, dans cette circonstance, le corps n'éprouve aucun changement de volume. Le coup est plus ou moins douloureux, selon que le contact immédiat avec le corps se fait par l'intermédiaire d'une surface plus ou moins large; il faut irriter l'animal, le provoquer; il n'en résulte pas seulement une seule décharge, mais bien plusieurs qui sont lancées avec une célérité étonnante. Selon sa vitalité, la commotion se fait sentir dans les articulations du doigt, dans le poignet, dans le coude, et même dans l'épaule. L'effet étant sensible, même lorsqu'on ne touche l'animal que d'un seul doigt, il faut en conclure que celui-ci donne passage à une portion de la décharge qui s'effectue dans l'intérieur de l'organe. C'est donc le résultat d'un choc latéral analogue à celui que l'on obtient quand on place une bouteille de Leyde chargée sur un morceau de drap mouillé, sur lequel se trouvent çà et là des grenouilles préparées, et qu'on la décharge de manière que le drap fasse partie du circuit. Les contractions qu'éprouvent les grenouilles qui ne

se trouvent pas sur le passage immédiat du courant annoncent l'existence de courants dérivés.

En plaçant la torpille sur un plateau de métal, de manière à toucher la surface inférieure des organes qui lui sont propres, la main qui le soutient n'éprouve pas de commotion, bien qu'on provoque l'animal. Si le poisson est placé entre deux plateaux de métal dont les deux bords ne se touchent pas, et que l'on pose sur chaque plateau une main, on éprouve une commotion, tandis qu'on ne ressent rien quand les deux plateaux se touchent en un point. M. Matteucci, qui a beaucoup étudié le phénomène de la torpille, compare la commotion de la torpille à celle d'une pile à colonne de 100 à 150 couples chargée avec de l'eau salée. Quand l'animal est plein de vitalité, qu'il sort de la mer, les décharges se succèdent très-rapidement, et l'on ressent la commotion quelle que soit la partie du corps que l'on touche; mais au fur et à mesure que l'animal s'affaiblit, il faut se rapprocher de plus en plus des parties correspondant aux organes électriques. Suivant M. Matteucci, la torpille a bien la faculté de lancer la décharge à sa volonté, mais non où elle veut. Pour reconnaître la distribution, sur le corps de la torpille, des points qu'il faut toucher pour recevoir la décharge, on couvre la surface de grenouilles préparées à la manière de Galvani, en ayant l'attention que chacune d'elles fasse arc. Si on touche, par exemple, la torpille avec l'extrémité d'un filet nerveux crural, la grenouille ne se contracte pas, tandis que si elle est posée à plat, elle manifeste de fortes contractions.

Des moyens employés pour reconnaître l'origine électrique de la décharge de la torpille.

L'exposé que nous venons de présenter des effets de la décharge du gymnote et de la torpille, tend à montrer que la décharge qui produit la commotion a une origine électrique; mais on ne peut le prouver qu'en obtenant, pendant que la décharge s'opère, soit des étincelles, soit la manifestation de courants électriques, soit des effets de décomposition. C'est alors seulement qu'on aura démontré que les poissons dont nous nous occupons possèdent la faculté d'élaborer le fluide électrique pour en disposer à leur gré comme d'une arme offensive ou défensive.

Commençons par l'étincelle. Voici le dispositif adopté par M. Matteucci pour l'observer. La torpille aussitôt qu'elle est tirée de

l'eau et essuyée, est placée sur un plat métallique isolé; on pose sur son dos un autre plat que l'on manœuvre avec un manche de verre. De chacun de ces deux plats part une tige recourbée terminée par une petite boule. A ces deux boules, qui sont très-rapprochées l'une de l'autre, on applique avec de la gomme laque deux petites feuilles d'or. Si l'on irrite l'animal, en remnant les plats, on voit aussitôt les petites feuilles d'or s'approcher ou s'éloigner, et de petites étincelles brillantes aller de l'une à l'autre.

M. Matteucci et le père Linari sont parvenus également à obtenir l'étincelle avec des hélices et des spirales électro-dynamiques. Voici comment expérimente le père Linari. Ayant pris nn fil de culvre de 577 mètres de long, il en composa deux hélices droits et trois spirales planes carrées; il introduisit dans une des hélices un cylindre de fer doux, et le système d'hélices fut lié ensemble et terminé par deux lames d'argent munies d'un manche isolant. La portion du fil qui réunissait la dernière hélice avec nne des lames d'argent fut interrompue par un godet rempli de mercure, dans lequel plongeaient les deux extrémités bien amalgamées du fil interrompu. La torpille ayant été essnyée, fut posée sur une lame de verre, en mettant une des lames d'argent sur le dos et l'autre sur le ventre. L'animal ayant été irrité, nn des bouts du fil fut plongé dans le mercure, retiré aussitôt, puis replongé de nouveau; on vit aussitôt éclater une étincelle entre le fil et le mercure. On obtient ainsi huit ou dix étincelles de suite.

La décharge ayant de l'analogie avec celle de la bouteille de Leyde, il faut donc employer pour observer les effets dynamiques un multiplicateur servant à constater la production de courants instantanés. On fait usage à cet effet du multiplicateur de M. Colladon, avec un système d'aiguilles astatiques; mais comme cet appareil a l'inconvénient, quand le fil a une très-grande longueur, de présenter un volume trop considérable, on y pare en enduisant de gomme laque le fil de soie recouvert de cuivre. Pour opérer, on fixe, aux deux extrémités du fil deux fortes lames de platine, destinées à être appliquées sur deux parties quelconques de l'animal. M. Matteucci a obtenu quelquefois de bons résultats avec des multiplicateurs ordinaires d'une sensibilité moyenne, qui permettaient d'éviter les effets résultant de la polarité des lames de platine.

Voici comment nous avons opéré, avec M. Breschet, pour constater la production du courant à l'instant de la décharge. L'une des lames de platine placée à l'une des extrémités, a été plongée dans une des branches d'un tube de verre en U rempli d'eau distillée, tan-

dis qu'une troisième lame de platine, en communication avec une autre par l'intermédiaire d'un fil de platine, fut placée dans l'autre branche. On avait alors deux lames libres, la dernière, puis celle fixée à l'autre extrémité du multiplicateur. Elles furent fixées chacune à un manche isolant tenu dans une main. L'animal ayant été soulevé hors de l'eau par la queue, fut maintenu dans une position verticale la tête en bas, puis les deux plaques furent appliquées sur l'organe principal, l'une au-dessus, l'autre au-dessous. L'aiguille aimantée fut déviée depuis 5 jusqu'à 40°, suivant l'état d'excitation de l'animal. En mettant une lame à la place de l'autre, le courant eut lieu dans un sens opposé; il est donc prouvé par là que la décharge qui traverse le fil du multiplicateur et l'eau distillée a bien une origine électrique. L'eau distillée est destinée à arrêter les faibles courants électro-chimiques ainsi que ceux provenant de la polarité des lames de platine.

La direction du courant indique que la lame appliquée sur la partie supérieure de l'organe lui enlève de l'électricité positive, et la lame en contact avec la partie inférieure, de l'électricité négative. Des spirales électro-dynamiques, substituées au multiplicateur, nous ont servi à aimanter des aiguilles d'acier placées dans leur intérieur; le sens de l'aimantation était d'accord avec celui de la déviation de l'aiguille aimantée dans le multiplicateur.

M. Matteucci en promenant successivement les deux lames de platine du multiplicateur sur les différentes parties de l'organe électrique, a été conduit aux résultats suivants. Tous les points de la partie dorsale de l'organe sont positifs par rapport à tous les points de la partie abdominale, comme nous l'avions déjà observé; les points de l'organe sur la face dorsale, qui sont au-dessus des nerfs pénétrant dans cet organe, sont positifs relativement aux autres points de la même face dorsale; les points de l'organe sur la face abdominale qui correspondent à ceux qui sont positifs sur la face dorsale, sont négatifs relativement aux autres points de la même face abdominale; au moyen de ces trois faits généraux on explique tous les effets de courant produits en touchant deux points quelconques de l'animal, et on conçoit pourquoi, en touchant une seule face de l'organe dans deux points différents, ou bien deux organes à la fois sur la même face, on n'obtient aucun effet quand les points touchés sont symétriques. On s'est demandé si une portion de la décharge est transmise par l'intermédiaire des nerfs qui se rendent à l'organe? Voici de quelle manière M. Matteucci s'y est pris pour répondre à cette question. Il a d'abord isolé, dans une torpille très-mince, les quatre nerfs de l'or-

gane, en les séparant de toutes les parties musculaires et autres ; après cette préparation, la torpille lançait encore de très-fortes décharges. Il a introduit ensuite dans un des nerfs deux lames de platine effilées et en relation avec le multiplicateur, de manière qu'elles ne fussent en contact qu'avec le nerf seul, et se trouvassent à la plus grande distance. L'organe fut irrité, et l'on n'obtint aucun signe de courant; si le nerf eût servi d'intermédiaire à la décharge, on aurait eu un courant dérivé. Dans ces expériences il faut avoir soin que les deux faces de l'organe soient touchées par des lames de même étendue, attendu que l'intensité du courant varie avec leur dimension.

Les effets chimiques sont la conséquence de la nature électrique de la décharge, aussi les obtient-on en opérant avec des bandes de papier humectées d'une solution d'iodure de potassium, dont on entoure les lames de platine servant à transmettre le courant. La père Linari a produit également les anneaux colorés de Nobili.

Des causes qui modifient la décharge de la torpille.

Nous avons supposé dans les expériences précédentes que la torpille sortait de l'eau, et était par conséquent pleine de vie ; nous devons indiquer maintenant les causes diverses qui modifient ses propriétés électriques. Il y a deux espèces de causes : causes extérieures, causes intérieures; voyons les effets des premières. Lorsqu'on veut conserver des torpilles et les faire servir longtemps à des expériences, il faut avoir égard à la masse d'eau, à la température de celle-ci, et au nombre de décharges qu'on lui a fait donner. Dans une masse d'eau de mer, d'un mètre de hauteur et de 30^{c} de diamètre, à une température de plus 22°,5 centigrades, la torpille ne conserve sa faculté que pendant 5 à 6 heures; la température vient-elle à baisser, sa faculté disparaît presque aussitôt. On peut ranimer une torpille, maintenue dans une petite quantité d'eau pendant un certain temps, en la replongeant dans de l'eau à une température plus élevée que celle à laquelle elle vivait; ainsi M. Matteucci a vu une petite torpille qui était restée 10 heures dans une très-petite quantité d'eau de mer, à une température de 10 à 12° centigrades, et semblait morte, se ranimer peu à peu dans de l'eau à 20°, et ne pas tarder à donner des commotions pendant une heure. D'autres expériences du même genre ont prouvé que l'on pouvait ranimer, à l'aide de la chaleur, jusqu'à un certain degré l'activité des fonctions électriques. Comment agit la chaleur dans cette circonstance? Est-ce en augmentant l'activité de la respiration et de

la circulation de l'animal? C'est ce que l'expérience seule peut décider. Pour le savoir, M. Matteucci a cherché à établir une relation entre les phénomènes de la respiration et l'intensité de la décharge. A cet effet, il a analysé l'air qui se trouve dans l'eau de mer. Voici les résultats obtenus dans des circonstances différentes.

Air de l'eau de la torpille qui a donné des décharges.

3500$^{cc.}$ ont donné 30,5 dixièmes de pouce cube anglais.

Composition.

Acide carbonique	11	....	30,6
Azote	19,5	....	69,4
Oxygène	des traces.		
	30,5		100

Air de l'eau de la torpille restée tranquille.

3500$^{cc.}$ ont donné 33,75 dixièmes de pouce cube anglais.

Composition.

Acide carbonique	12,50	....	37,8
Azote	20,25	....	59,4
Oxygène	1	....	2,8
	33,75		100

Ces résultats sembleraient montrer que la torpille qui a respiré plus que l'autre est celle qui donne les décharges. Car l'oxygène absorbé est à l'azote absorbé comme 100 : 59, et l'oxygène absorbé à l'acide carbonique produit comme 100 : 37,2; dans la seconde torpille, la première proportion est de 100 à 57,5; la deuxième de 100 à 45. La torpille qui a le plus d'action sur l'oxygène et l'azote serait donc celle qui aurait développé le moins d'acide carbonique. D'autres expériences analogues ont montré que la force de la décharge est proportionnelle à la respiration et à la circulation de l'animal; mais ce fait a besoin d'être confirmé par de nouvelles observations. Examinons l'action des poisons.

Du chlorure de strychnine a été introduit dans la bouche et l'estomac d'une forte torpille : la moelle épinière se contracta fortement quelques secondes après; des décharges électriques se manifestèrent de temps à autre. 10 minutes après, elles devinrent plus faibles et plus rapprochées, et l'animal mourut au milieu de vives contractions.

Avec le chlorure de morphine, 8 ou 10 minutes après, elle donna spontanément de très-fortes décharges, qui n'étaient pas accompagnées de contractions; en introduisant un multiplicateur dans le circuit, l'aiguille fut continuellement agitée; en 10 minutes elle donna 60 décharges; il fallut ensuite irriter l'animal pour obtenir des décharges. La torpille ne vécut que 40 minutes en donnant des décharges plus ou moins fortes. Enfin, lorsque l'on fit passer un courant électrique provenant d'une pile composée de 30 couples, et chargée avec de l'eau acidulée, de la bouche aux branchies, à la peau ou dans l'intérieur de l'organe, on n'observa rien de particulier.

Voyons comment les causes intérieures modifient le phénomène de la torpille. Il faut passer successivement en revue l'influence qu'exercent la substance propre de l'organe, les parties musculaires, cartilagineuses et autres, qui le recouvrent et l'environnent, les nerfs qui se rendent dans l'organe et le cerveau. Cet examen a été fait avec soin par M. Matteucci. La décharge ne souffre aucune modification quand on enlève toute la peau de l'organe, celle du dos ou du bas-ventre. En coupant l'organe à moitié, horizontalement, et en plaçant une lame de verre entre les deux parties séparées, la décharge a toujours lieu : mais pour bien voir ce qui se passe dans cette circonstance, il faut avoir l'attention de détruire préalablement un des organes. On n'anéantit la puissance électrique qu'en agissant sur la substance même de l'organe, soit au moyen d'un acide concentré ou de l'eau bouillante. Après avoir enlevé la peau qui couvre l'organe, si on le mouille avec de l'acide sulfurique, on obtient aussitôt de fortes décharges ; mais dès l'instant que la substance est détruite, la propriété électrique ne se manifeste plus ; il en est de même en employant de l'eau bouillante. On peut couper la partie cartilagineuse environnant l'organe, les tubes sécréteurs, les muscles, les tendons qui environnent l'organe, sans que l'animal paraisse perdre aucunement de sa faculté. Vient-on à couper les nerfs de l'un des organes, la décharge cesse seulement de ce côté. Quand on en coupe plusieurs, la décharge ne se manifeste que dans les parties où se ramifie le nerf resté intact. L'animal cependant vit encore longtemps après qu'on lui a incisé les nerfs de l'organe. On suspend également les fonctions des nerfs en établissant des ligatures. Les nerfs étant coupés, si l'on tiraille un des troncs nerveux, on obtient encore quelques décharges.

Des expériences importantes que nous devons à M. Matteucci, sur les fonctions du cerveau, nous révèlent les parties de cet organe où s'élabore l'électricité; il faut commencer par découvrir l'organe avec un

rasoir, sans déterminer aucune lésion, afin que l'animal reste plein de vie ; la décharge se manifeste quand on touche le cerveau avec un corps quelconque. En explorant successivement tous les points de cet organe, on trouve que les premiers lobes peuvent être détruits ou enlevés, sans que pour cela la décharge cesse d'avoir lieu. Les lobes suivants, quand ils sont touchés ou blessés, donnent de fortes contractions, et même des décharges quand l'animal a beaucoup de vitalité. Le troisième lobe se comporte comme le premier; mais il n'en est pas de même du quatrième et dernier lobe, car lorsqu'il est détruit, le pouvoir électrique de l'animal disparaît, lors même qu'on laisserait subsister le reste du cerveau. Il paraît donc que les organes électriques se réduisent au quatrième lobe du cerveau, à ses nerfs et à l'organe proprement dit. Les rapports sont tels entre le lobe et l'organe, que si on touche la partie droite de ce lobe, c'est l'organe droit qui fonctionne ; le contraire a lieu en touchant la partie gauche. Les expériences de M. Matteucci sur la torpille dans un état de faiblesse tel que ses branchies sont sans mouvements, et qu'elle ne donne plus de décharges en l'irritant mécaniquement partout ailleurs que dans le cerveau, ne sont pas non plus sans importance pour la physiologie. Si on découvre le cerveau dans une pareille torpille, et qu'on touche le lobe électrique, l'animal donne des décharges beaucoup plus fortes que lorsqu'il était plein de vie. Le courant va du dos au ventre comme à l'ordinaire. Vient-on à blesser le lobe, la décharge a lieu ; mais dans ce cas le courant va indifféremment du dos au ventre ou du ventre au dos. On obtient ainsi quatre ou cinq décharges, après quoi la faculté électrique est anéantie.

Voyons ce qui arrive quand on applique l'action voltaïque au cerveau et aux nerfs qui se rendent aux organes électriques. Le cerveau ayant été mis à découvert, deux galvanomètres furent mis en rapport avec les deux organes, et l'animal couvert de grenouilles afin de mieux distinguer les principaux points rendus capables de transmettre la décharge. On enfonça l'électrode négatif dans l'organe sur la partie dorsale, et près du bord extérieur, l'autre électrode fut placé sur la partie droite du lobe électrique; aussitôt il y eut décharge. M. Matteucci prétend s'être assuré que la décharge et le courant ne proviennent pas d'un courant dérivé, et il se fonde pour cela sur ce fait, que l'action voltaïque appliquée à d'autres parties du corps de l'animal ne produit pas d'effet; car si l'on touche la partie gauche du lobe électrique avec les électrodes, c'est l'organe gauche qui fonctionne. Vient-on à changer la direction du courant, en introduisant l'électrode

positif dans l'organe, et le négatif sur le lobe électrique, on a de fortes contractions musculaires sans décharge.

Comment agissent les ligatures des nerfs de l'organe sous l'influence voltaïque? Les quatre nerfs de l'organe droit d'une forte torpille très-vivace ayant été liés, on a opéré comme précédemment en mettant à nu le cerveau. Quand le courant cheminait directement, il n'y avait pas de décharge; dirigé en sens inverse, il ne produisait que de faibles contractions. En opérant sur l'organe même, M. Matteucci a observé les faits suivants : un des organes fut séparé sans enlever la peau, en coupant les nerfs et les branchies, et tranchant circulairement toutes les parties environnant l'organe du côté de la tête. L'organe avec ses quatre nerfs fut posé sur une lame de verre, et mis en relation avec un multiplicateur. La surface fut recouverte de grenouilles préparées, l'électrode négatif introduit dans l'organe même, et le positif appliqué sur les quatre nerfs; l'aiguille aimantée fut aussitôt déviée de quatre degrés, et les grenouilles éprouvèrent de fortes contractions. Les quatre nerfs étant placés sur la lame de platine, le courant n'avait plus d'intensité sensible. Ces effets cessent quand l'animal est mort depuis quelque temps. En résumé, nous sommes conduits, par les expériences que nous venons de rapporter, aux conséquences suivantes :

L'électricité est élaborée dans le 4e lobe, et est transmise aux deux organes par l'intermédiaire des nerfs; toute action extérieure capable de déterminer la décharge est transmise du point irrité au 4e lobe, d'où part l'électricité pour se rendre à l'organe par sa route habituelle; la décharge est produite toutes les fois que l'on applique une action externe sur le 4e lobe. Le rapport existant entre le 4e lobe et les nerfs ou le système de l'organe est le même que celui qui existe entre un nerf et les muscles correspondants; il n'y a d'autre différence que dans un cas il y a décharge et dans un autre contraction. Le courant électrique agissant sur les nerfs produit, soit des contractions, soit des décharges. Enfin l'action voltaïque est le dernier stimulant agissant sur le 4e lobe, capable de provoquer la décharge. C'est ce qu'on observe également dans les contractions de la grenouille: on a vu, en effet, que lorsque tous les moyens d'excitation sont insuffisants pour provoquer les contractions, l'action voltaïque continue à les déterminer.

M. Faraday a fait une série de recherches sur le gymnote, qui lui ont prouvé également que les phénomènes électriques que présente cet animal sont du même ordre que ceux de la torpille, et des phénomènes produits par nos appareils; c'est ainsi qu'il a obtenu succes-

sivement, dans l'acte de la décharge, la décomposition chimique, la déviation de l'aiguille aimantée dans le multiplicateur, et une élévation de température dans les fils conjonctifs.

Il paraît que, dans la torpille et le gymnote, la puissance électrique développée est en raison directe de la force nerveuse qu'ils possèdent; l'action électrique est ordinairement suivie d'un affaiblissement, de même que l'action musculaire; ainsi tout concourt à prouver que la force nerveuse peut être convertie en force électrique, comme l'électricité peut produire de la chaleur; mais on ne peut dire que la réciproque soit vraie.

L'étude des phénomènes électriques de la torpille, du gymnote et du silure nous démontre l'existence d'une classe à part d'animaux dans lesquels le cerveau élabore de l'électricité, dont l'animal fait usage comme d'une arme offensive ou défensive; mais il pourrait se faire qu'une semblable élaboration eût lieu dans les autres animaux, non pas pour produire des décharges analogues à celles de la bouteille de Leyde, mais bien pour remplir d'autres fonctions essentielles à la vie, telles que les sécrétions, la digestion, etc., etc. Mais les faits manquent pour donner de la force à cette assertion.

CHAPITRE X.

Des contractions produites sous l'empire de la volonté.

On ne saurait disconvenir que dans l'état actuel de la science il ne soit bien difficile de donner une théorie satisfaisante des contractions produites par l'action sur les nerfs des stimulus quels qu'ils soient; mais les difficultés sont encore bien plus grandes quand on essaye de remonter à la cause des contractions produites sous l'empire de la volonté; c'est une question dont la solution dépasse nos facultés. Il y aurait donc de la témérité à chercher à la résoudre; mais il est permis de tâcher de découvrir quelques-unes des causes qui concourent à ce grand acte de la nature.

Lorsque nous voyons, par exemple, reproduire dans les expériences galvaniques d'Aldini et du docteur Andrew Ure, sur des suppliciés, avec une effroyable vérité, les divers mouvements du corps et même de la face, n'est-on pas disposé à admettre que la nature, élaborant le

finide électrique par des moyens qui échappent à nos investigations, en dispose d'une manière plus régulière et par conséquent moins désordonnée que nous ne le faisons avec nos appareils pour mettre en mouvement certaines parties sans troubler l'harmonie des autres? Raisonnons dans cette hypothèse; mais présentons auparavant quelques considérations physiologiques qui ne sont pas sans intérêt pour le sujet que nous voulons traiter.

De quelque manière que l'on veuille envisager les divers actes du cerveau, il est un fait capital dont on ne peut nier l'existence; c'est qu'il lui arrive des sensations qui lui apportent les images des corps extérieurs; que ces sensations sont le mobile, le point de départ de toutes les facultés qui composent notre intelligence; ou bien que ces facultés naissent dans le cerveau, complétement indépendantes des sensations; il faut en outre admettre ce deuxième grand fait, c'est que le résultat de tous les actes du cerveau est d'aboutir à des mouvements très-variés, qui traduisent plus ou moins fidèlement nos idées au dehors.

Quelle que soit l'hypothèse que l'on admette pour expliquer ce qui se passe dans le cerveau, on ne doit pas perdre de vue les deux principes suivants qui préexistent à toutes les théories : 1° il arrive au cerveau des sensations; 2° il part du cerveau un stimulus quelconque en vertu duquel les organes exécutent des mouvements divers. Les agents qui remplissent ces fonctions sont évidemment des nerfs, dont les uns sont destinés exclusivement au mouvement et d'autres au sentiment. Les premiers sont mis en action par la volonté, les autres par une cause extérieure ou un désordre organique capable de faire éprouver à l'individu un sentiment de douleur.

L'expérience ayant appris que pour faire contracter un muscle, il faut irriter le nerf correspondant en un point quelconque de son trajet, c'est-à-dire déterminer un ébranlement qui se propage de proche en proche jusque dans le muscle, nous sommes naturellement porté à admettre que le cerveau, par l'effet de l'exercice des facultés intellectuelles, imprime une impulsion au nerf, à son origine, laquelle est transmise avec une rapidité extraordinaire dans tout son trajet, jusque dans les ramifications les plus ténues. Or, cette impulsion imprimée au nerf par le cerveau ne peut être, eu égard à nos connaissances en physique, que le résultat d'une action mécanique, d'une action chimique ou d'une action électrique. Nous ne pouvons raisonner par conséquent que dans chacune de ces trois suppositions, car s'il existait un autre mode d'action, la nature nous en étant inconnue, il

nous serait impossible d'en discuter les effets. Examinons donc séparément chacune de ces causes, pour savoir à laquelle nous devons donner la préférence. L'action mécanique que l'intelligence mettrait en jeu à l'origine du nerf, doit être évidemment écartée, car il pourrait en résulter un désordre organique à la longue. Il est peu probable aussi que l'acte de la volonté dans le cerveau puisse porter un acide, un alcali, un corps quelconque, à l'origine du nerf, pour réagir chimiquement sur lui; car s'il en était ainsi, la matière cérébrale ne tarderait pas à être altérée par suite de l'exercice continu des facultés intellectuelles.

Il ne reste donc plus à examiner que l'électricité, dont l'action est telle que, lors même qu'elle a une grande intensité, elle détermine des contractions violentes dans les muscles, sans que le nerf qui transmet l'action éprouve le moindre dérangement apparent dans son organisation. Or, il y a tant de moyens d'exciter la puissance électrique dans les corps, puisque le moindre dérangement dans leurs parties constituantes suffit pour troubler son état d'équilibre, qu'il peut très-bien se faire que la volonté, par un sentiment instinctif, ébranle quelques points du cerveau pour mettre en mouvement l'électricité à l'origine du nerf qui doit être affecté, d'où résulte ensuite un mouvement vibratoire général dans toutes les ramifications nerveuses. L'élaboration de l'électricité dans le cerveau des poissons électriques justifie cette supposition; nous citerons encore à l'appui de cette opinion, si toutefois l'effet n'est pas dû à l'ébranlement du nerf à son origine, ce fait, que le passage de l'électricité peut se faire sans difficulté du cerveau dans le nerf et ses ramifications, puisque l'on retrouve sous le névrilème la même substance que celle qui constitue la matière cérébrale.

La différence qui, suivant nous, existerait entre les poissons électriques, l'homme et les autres animaux, viendrait de ce que, dans les premiers, la nature y a placé des organes propres à condenser l'électricité élaborée dans le cerveau, afin d'augmenter suffisamment sa tension pour en faire une arme offensive ou défensive, tandis que dans les seconds, cette même électricité n'a que la tension nécessaire pour affecter les différents systèmes nerveux de manière à produire les contractions, les sensations et effectuer les diverses fonctions vitales en mettant en action les organes chargés de les accomplir.

Si les choses se passent ainsi, une contraction musculaire sous l'empire de la volonté serait précédée par une décharge électrique instantanée du nerf dans le muscle, par l'intermédiaire des ramifications

nerveuses ; il nous a été impossible, à la vérité, jusqu'ici de recueillir dans l'homme et les animaux, autres que les poissons électriques, des traces d'électricité libre, même à l'instant d'une forte contraction; mais cet effet négatif peut tenir d'une part à ce que la tension de l'électricité est trop faible, de l'autre, à ce qu'il y a retour au cerveau de l'électricité qui en provient. Le mode de terminaison des nerfs, tel que l'ont reconnu MM. Prévost, Dumas et Breschet, fait concevoir la possibilité de ce retour.

D'un autre côté, le passage de l'électricité dans les muscles, considérés comme de médiocres conducteurs, devrait y produire une élévation de température : ne pourrait-on pas rapporter à cette cause l'élévation subite de température observée dans un muscle à l'instant où il se contracte, phénomène qui ne peut guère provenir que d'une action nerveuse?

Nous sommes partis de cette supposition, que l'électricité était dégagée dans le cerveau, mais il y en a à l'état libre dans toutes les parties du corps où il y a des organes opérant des fonctions; ainsi, comme nous l'avons démontré, le travail compliqué de la digestion, le phénomène de la respiration, la transformation du sang artériel en sang veineux, produisent une quantité énorme d'électricité dont la nature peut disposer à son gré, car toute force doit avoir une destination. Pourquoi le cerveau, nous le répétons, ne possèderait-il pas aussi, comme tous les autres organes, la faculté de dégager de l'électricité, que la volonté mettrait en action ?

Mais arrêtons-nous, dans la crainte de nous jeter dans des considérations métaphysiques qui ne sont pas de notre ressort. Au surplus, nous renvoyons, pour plus de développements, au VIe volume de notre *Traité d'électricité*.

CHAPITRE XI.

De l'emploi de l'électricité dans la thérapeutique.

L'emploi de l'électricité, comme moyen thérapeutique, n'a pas répondu à l'espérance des premiers expérimentateurs, qui avaient cru pouvoir en tirer un parti avantageux pour guérir certaines maladies ou en arrêter les progrès. Tantôt des résultats en apparence satis-

faisants ont été obtenus, tantôt il y a eu absence d'effets ; de sorte que l'on iguore si les premiers doivent être attribués plutôt à la nature qu'à l'électricité. Cependant, il est permis de croire, d'après le mode d'action du fluide électrique sur les parties constituantes du corps, soit qu'il agisse comme force physique ou comme force chimique, que cet agent doit exercer dans certaines circonstances une influence salutaire sur l'économie animale ; mais il faut pour cela en faire un emploi judicieux. Nous allons indiquer quelques règles générales qui pourront servir de guide aux personnes appelées à appliquer l'électricité à la médecine.

L'action de l'électricité pouvant être envisagée sous le point de vue physique et chimique, nous devons avoir égard aux effets produits dans l'un et l'autre cas, afin de bien les distinguer les uns des autres dans l'application.

L'électricité agissant comme force physique dans l'organisme, produit des contractions ou un dérangement quelconque dans l'équilibre des molécules organiques. Les contractions ayant déjà été étudiées avec de grands développements en ce qui concerne les phénomènes généraux, nous n'y reviendrons pas ; les effets observés vont nous servir de point de départ pour indiquer de quelle manière on doit opérer.

Quand on fait passer un courant des nerfs dans les muscles d'une grenouille préparée, nous avons vu que les molécules organiques de ces nerfs éprouvaient un déplacement tel que les muscles ne se contractaient plus pendant tout le temps que le courant circulait, et que lorsque le circuit était resté fermé longtemps, le repos seul, ou bien un courant dirigé en sens inverse, pourvu toutefois que les parties de l'animal eussent encore de la vitalité, pouvait seul leur rendre leur faculté primitive. Ce fait nous indique que le passage continu du courant dans les nerfs peut être employé utilement dans certaines maladies nerveuses résultant d'un état de surexcitation, puisque les nerfs qui ont été parcourus par un courant pendant un certain temps, perdent momentanément la faculté de faire contracter les muscles correspondants sous l'influence d'un courant de même intensité que le premier.

On a peu administré jusqu'ici l'électricité sous ce point de vue ; on s'en tient, pour tous les cas morbides, aux courants interrompus, dont l'effet est de surexciter continuellement les nerfs, comme on peut en juger par les vives contractions musculaires qui en résultent, et qui peuvent aller jusqu'au tétanos. Ce traitement ne saurait donc

convenir dans les cas où le système nerveux est dans un état permanent ou passager de surexcitation. D'après cela, s'il s'agit de calmer un nerf surexcité, il faut employer les courants continus; si, au contraire, il se trouve dans un état d'atonie, on doit se servir des courants interrompus. Voilà ce que la théorie indique.

Pour appliquer les courants continus, il faut, suivant les cas, enlever l'épiderme de la peau, ou agir sur l'enveloppe cutanée intacte, et poser sur les parties par lesquelles doit entrer et sortir le courant deux lames de platine en relation avec une pile et recouvertes d'une étoffe suffisamment épaisse pour conserver longtemps de l'humidité. Quand il s'agit d'atteindre des nerfs et d'agir directement sur eux, on se sert pour transmettre le courant d'aiguilles de platine très-fines, introduites, comme dans l'acupuncture, le plus près possible de ces nerfs, et même dans leur trajet, si l'on n'a point à craindre aucun effet fâcheux. On doit toujours avoir l'attention de commencer par des courants faibles, afin de ne pas effrayer le malade, et de tâter en quelque sorte l'organe, pour éviter des accidents plus ou moins graves. Le passage continu du courant détermine dans les liquides pénétrant les organes des décompositions chimiques qui amènent autour des pointes de platine des éléments chimiques, dont la réaction sur les parties environnantes produit souvent une inflammation assez considérable, suivie d'une escarre.

On pourrait parer à cet inconvénient, quand l'organe n'est pas trop sensible, en humectant l'étoffe de la lame positive d'eau légèrement alcalisée, et celle de la lame négative d'eau un peu acidulée. On neutraliserait ainsi sur la première l'acide, et sur la seconde l'alcali transportés par le courant.

Passons aux courants interrompus, à l'aide desquels on donne des commotions agissant comme surexcitants. Ces courants peuvent être administrés, soit avec les machines électriques ordinaires, soit avec les machines d'induction, soit avec la pile. Avec les machines électriques on tire des étincelles de diverses parties du corps, au moyen d'excitateurs à manches isolants, dont on varie la forme suivant les effets que l'on veut produire. Quelquefois ces excitateurs ne sont que de simples brosses métalliques destinées à diviser à l'infini l'étincelle, afin de provoquer une certaine irritation sur la peau. Si l'on veut avoir des effets d'une certaine énergie, on emploie la bouteille de Leyde.

Les machines d'induction, et particulièrement celle de M. Masson, dont nous allons donner la description, agissent encore avec la plus

grande énergie. Cette machine se compose d'une roue dentée métallique d'un assez grand rayon, à laquelle on imprime un mouvement de rotation à l'aide de la corde sans fin d'un rouet; l'axe, les tourillons et les coussinets, sur lesquels ils reposent, sont également en métal. L'un des coussinets communique avec l'un des pôles d'une pile, l'autre avec la main de la personne soumise à l'expérience; de l'autre main on saisit fortement l'un des bouts d'une hélice enroulée sur un cylindre de fer doux, et en communication par l'autre bout avec le second pôle de l'appareil voltaïque. De cette manière le circuit est formé de la pile, de l'hélice, du corps de l'expérimentateur et de l'axe de la roue dentée. Le courant ne se manifeste pas quand l'hélice est composée de 4 ou 500 mètres; mais il n'en est pas de même quand le corps humain cesse de faire partie du circuit, c'est-à-dire lorsque ce dernier est tout métallique. Cette condition est remplie quand le premier bout de l'hélice que l'expérimentateur tient à la main est terminé par une lame de ressort aplati, qui, maintenue à sa naissance par un appui fixe, va presser par son extrémité libre une dent de la roue de métal. Aussitôt que cette roue tend à tourner, le circuit, qui est tout métallique, se trouve interrompu à l'instant où la dent pressée échappe au ressort qui la touche; alors le premier circuit, celui dont l'expérimentateur fait partie, subsiste seul et produit une vive secousse due à un courant d'induction. La roue, continuant à tourner, une nouvelle dent vient toucher le ressort, et à l'instant où elle s'échappe on éprouve une secousse aussi vive que la première. On conçoit parfaitement que la roue tournant d'une manière uniforme, le même phénomène se reproduise d'une manière périodique au passage de chaque dent.

Toutes les fois que le mouvement de la roue est peu rapide et que les contacts des dents avec le ressort se succèdent lentement, on éprouve de très-vives secousses. Quand le mouvement est suffisamment accéléré, la sensation devient continue et se change en une contraction douloureuse, en une torsion des bras, qui ne permet pas à l'expérimentateur d'abandonner les conducteurs métalliques; mais quand ce mouvement est très-rapide, la sensation diminue par degrés et finit par disparaître entièrement. Alors les effets sont les mêmes que si tout le circuit était métallique.

M. Masson est parvenu à tuer un chat en 4 ou 5 minutes, en le soumettant aux décharges rapidement répétées de l'appareil, fonctionnant avec une pile composée seulement de quelques éléments. Les muscles de l'animal se trouvaient alors dans un état tétanique. Ces effets indiquent sur-le-champ que l'on doit se servir de cet appa-

reil avec prudence, si l'on ne veut pas courir le risque de produire, dans l'intérieur du corps, des désordres organiques.

Avec la pile, sans appareil d'induction, on obtient également des commotions plus ou moins vives à des intervalles de temps égaux an moyen d'une horloge à balancier, dont les battements isochrones établissent et interrompent les communications entre les pôles. De chaque extrémité de la pile part un fil de cuivre terminé par une pièce de même métal ou de platine, construite de manière à pouvoir s'appliquer avec la plus grande facilité sur la partie malade. Si l'on veut agir intérieurement, on introduit des aiguilles d'acier ou de platine dans les parties où l'on veut opérer. Ce dernier mode est le plus efficace de tous, puisqu'il permet d'agir directement dans l'intérieur sur la partie malade; aussi est-ce celui qui est aujourd'hui le plus généralement employé.

On ne doit pas perdre de vue les effets physiologiques produits avec des courants d'une faible intensité, suivant qu'ils cheminent dans le sens des ramifications nerveuses ou dans la direction opposée. Dans le premier cas, il y a contraction; dans le second, douleur. Ritter et Richerand, sans avoir pu se rendre compte des effets observés, avaient déjà signalé des différences dans le mode d'action du courant suivant sa direction. Ainsi le premier avait dit que le pôle positif augmentait les forces vitales, tandis que l'autre les diminuait, que le premier tuméfiait les parties, le second les déprimait; mais ils confondaient évidemment les effets chimiques et les effets physiologiques. Richerand conseillait, quand il fallait exalter l'irritabilité affaiblie, de placer le pôle négatif le plus près possible de l'origine du nerf, et le pôle positif sur le muscle dont on voulait réveiller l'action engourdie ou totalement suspendue. Dans ce cas, le courant cheminant dans un sens opposé aux ramifications nerveuses, devait déterminer une excitation.

Nous répétons encore que l'électricité appliquée en courants interrompus doit être administrée avec prudence, car lorsqu'on agit puissamment sur les nerfs, il peut en résulter des ébranlements fâcheux dans le cerveau, ainsi que des accidents graves dans les muscles, tels que des déchirements, des épanchements de sang; et cela doit arriver toutes les fois que l'énergie du courant n'est pas en rapport avec le pouvoir conducteur des parties qui servent à le transmettre.

L'électricité agissant comme force chimique a encore été peu employée, et cependant il est permis de croire que son action dans

Digitized by Google

certaines circonstances doit être des plus énergiques. On a remarqué qu'il se produit en général dans les parties sur lesquelles sont appliqués les électrodes une inflammation, suivie quelquefois de suppuration. Ces effets peuvent être attribués, soit à l'excitation résultant de la circulation du courant, soit à l'action décomposante du courant; car du côté positif il se dépose des acides, du côté négatif des alcalis, qui doivent réagir sur les matières organiques avec d'autant plus d'énergie que les éléments transportés sont plus corrosifs; néanmoins on peut tirer un parti avantageux des réactions produites pour dénaturer des plaies, comme on le fait en employant la cautérisation.

S'il s'agit d'un ulcère rebelle, sécrétant des matières alcalines, pour faire changer cet état de choses, il faut appliquer sur la plaie l'électrode positif, afin de la rendre électro-positive et d'y faire arriver continuellement des éléments acides. Si cet état est maintenu pendant un temps suffisant, on finit par forcer l'organe à sécréter des humeurs d'une nature entièrement opposée à celles produites dans l'état pathologique; il est possible d'arriver ainsi à faire rentrer cet organe dans l'état normal. C'est ce qui nous est arrivé dans une expérience que nous avons faite, conjointement avec M. Breschet, à l'Hôtel-Dieu, sur un homme ayant à la jambe un ulcère rebelle.

On peut aussi, à l'aide de l'électricité, transporter dans l'intérieur du corps un agent chimique quelconque, capable de produire tel ou tel effet sur un organe malade. Nous citerons pour exemple les résultats suivants, obtenus par le docteur Palaprat. Après avoir séché autant que possible les deux bras d'une femme, il appliqua sur l'un d'eux une petite compresse imbibée d'une solution d'iodure de potassium, qu'il recouvrit avec une lame de platine en communication avec le pôle négatif d'une pile composée de trente éléments; il plaça sur l'autre bras une compresse humide avec de l'amidon, et la recouvrit également d'une lame de platine en communication avec le pôle positif. Peu d'instants après, l'amidon prit une teinte bleue, preuve que l'iode avait été transporté d'un pôle à l'autre, à travers le corps. Ayant enlevé l'épiderme, l'effet fut encore plus marqué. M. Fabre Palaprat a transporté également dans l'intérieur des muscles l'iode et d'autres agents chimiques, au moyen d'aiguilles de platine qui y avaient été introduites. On conçoit que ce traitement puisse avoir quelquefois de bon résultats.

Enfin, on peut au moyen de l'électricité voltaïque appliquer un moxa dans les régions les plus profondes du corps. On introduit à cet effet dans la partie affectée une aiguille de platine que l'on met en com-

munication avec l'un des pôles d'une pile composée d'éléments à larges surfaces, capables de produire des effets thermo-électriques énergiques, tandis que l'autre pôle est en relation, au moyen d'une plaque métallique, avec une partie du corps voisine de celle où se trouve l'aiguille : à l'instant celle-ci s'échauffe jusqu'à l'incandescence, et brûle les chairs contiguës, en produisant une vive douleur de très-courte durée. Il ne tarde pas à se développer une inflammation comme dans l'application du moxa, puis une escarre qui finit par tomber sous forme de tuyau de plume.

Des cas pathologiques auxquels on a appliqué l'électricité.

On a cherché à appliquer l'électricité à une foule de maladies, et entre autres aux paralysies ; mais il faut avouer qu'il y a eu de bien nombreux mécomptes ; néanmoins nous allons indiquer les principaux cas où l'on a eu des résultats probants.

Grapengiesser est parvenu à stimuler le nerf optique dans l'affaiblissement de la vue et dans l'amaurose non complète, en mettant en contact la membrane des narines avec le conducteur positif d'une pile, et une partie de la peau qui recouvre le trajet du nerf frontal avec le conducteur négatif. Quand la membrane nasale est trop affectée, on applique le pôle positif sur la mâchoire supérieure, ou, si la douleur est trop vive, sur la peau humectée de la joue. Pour irriter le nerf optique, il appliquait l'un des deux pôles sur la cornée, et l'autre sur une partie environnante suffisamment humectée. Ce mode d'application exige des précautions, attendu qu'il en résulte fréquemment une abondante sécrétion de larmes et qu'il occasionne une rougeur très-vive à la conjonctive.

M. Magendie a fait usage de l'électricité dans les cas d'affaiblissement de la vue ; il dirige à cet effet le courant à travers les nerfs de l'orbite. Ayant remarqué que les principaux organes de la vue, le globe de l'œil et le nerf optique, n'agissent plus quand ils sont soustraits à l'influence de la cinquième paire, d'où résulte une amaurose, il en a conclu qu'il devait exister deux espèces d'amauroses, l'une, ayant pour cause une affection de la rétine, et par suite du nerf optique, et l'autre une affection du nerf de la cinquième paire. Il a pensé que, dans ce dernier cas, l'électricité pouvait être employée avec avantage sur les diverses branches de la cinquième paire. A cet effet, il a agi sur le nerf sans affecter les parties environnantes. Des aiguilles ont été enfoncées, en conséquence, dans le nerf même, sans

intéresser les parties environnantes. La première expérience a été faite sur un jeune homme atteint d'amaurose avec immobilité de la pupille; une aiguille d'acier fut enfoncée dans le nerf frontal, au point où il vient sortir du trou sourcilier; l'autre aiguille fut introduite dans le nerf sous-orbitaire, à l'endroit où il sort de l'orbite; le malade ressentit chaque fois dans tout le côté correspondant, un effet semblable à celui qu'on éprouve quand on se heurte le coude. On répéta l'expérience; mais au lieu de piquer le nerf frontal sur le front, l'on plaça l'aiguille dans l'orbite même, vers le milieu environ de sa longueur. On agit ensuite sur le nerf lacrymal; ces diverses tentatives n'ayant amené aucune amélioration dans l'état de l'amaurose, on fit passer un courant dans les nerfs, au moyen des aiguilles, afin d'exciter indirectement l'action de la rétine et du nerf optique. Deux jours après, les aiguilles furent placées l'une dans le nerf frontal, l'autre dans le nerf maxillaire supérieur, et mises en communication avec les deux extrémités d'une pile composée de douze éléments de 16 centimètres de côté. A l'instant où le circuit fut fermé, le malade éprouva une commotion douloureuse dans le trajet du nerf, la lumière l'affecta visiblement, et la pupille se contracta; au bout de 15 jours de traitement, il y eut une amélioration sensible dans l'amaurose, et la pupille reprit ses dimensions ordinaires. M. Magendie a obtenu d'autres résultats satisfaisants en suivant ce mode de traitement. Nous ferons remarquer seulement que les muscles et les nerfs ayant le même pouvoir conducteur, il est probable que l'on aurait obtenu les mêmes résultats en plaçant les aiguilles en dehors et près des nerfs dans les muscles, au lieu de les piquer.

Pour exciter les nerfs auditifs, on adapte à l'extrémité des conducteurs de la pile une tige de métal renfermée dans un tube de verre et terminée par une boule de verre. Dès que le courant est transmis dans les nerfs optiques, on entend un bourdonnement plus ou moins fort; l'excitation est transmise jusqu'au nerf optique. Quand on ne veut agir que sur une oreille, on applique le conducteur dans le canal auditif de cette oreille, et l'autre sur une partie contiguë dénudée. On a reconnu que ce mode de traitement était employé avec avantage dans la faiblesse de la vue, dans la surdité et dans l'aphonie incomplète.

En général, on peut appliquer le traitement électrique dans les cas de paralysie incomplète, et lorsqu'il s'agit de surexciter le système nerveux; mais lorsque la paralysie est complète, et que la vie est éteinte dans les nerfs, les courants électriques doivent être impuis-

sants pour rendre aux muscles la faculté de se mouvoir. Jusqu'ici nous n'avons encore indiqué que les moyens d'agir sur des nerfs particuliers frappés d'atonie; il faut maintenant indiquer le traitement électrique suivi jusqu'ici par les personnes qui en ont fait l'emploi le plus judicieux dans la paralysie.

Parmi elles, nous citerons d'abord MM. Marianini et Nobili. M. Marianini a employé avec assez de succès les courants provenant d'une pile à colonne d'une soixantaine de couples. Voici les détails d'un traitement exécuté sur une femme qui avait perdu subitement l'usage de ses membres ainsi que la sensibilité. Une bande de plomb en communication avec la pile fut mise autour d'une des jambes, et une autre semblable, en relation avec le pôle négatif, fut placée entre le cou-de-pied et les orteils. On commença d'abord par donner 50 secousses à la jambe, en interrompant le circuit, puis le même nombre à l'autre; on en porta le nombre à 300 à chacune des jambes, en faisant communiquer chaque pied avec un des pôles; chaque secousse avait lieu à un intervalle d'une à deux secondes, et après chaque secousse, il y avait un repos de deux ou trois minutes; dans l'intervalle d'une série de secousses à l'autre, le circuit restait fermé. Le courant continuant à circuler, il devait en résulter nécessairement un affaiblissement dans le système nerveux, affaiblissement salutaire dans le cas où ce système aurait été surexcité par l'effet des commotions; quelquefois aussi, on électrisait la malade en mettant l'extrémité de la bande de plomb terminée en pointe et communiquant avec le pôle négatif, en contact avec l'endroit de la jambe dont la peau paraissait la plus délicate et qui avait été humectée avec de l'eau salée; la malade éprouva une sensation semblable à celle d'une piqûre, et la première qu'elle ressentît depuis sa paralysie. Ce traitement fut administré pendant plus d'une heure et répété plusieurs jours de suite. On augmenta peu à peu le nombre des couples, ainsi que le nombre des secousses, qui fut porté à 800. Douze jours après le commencement du traitement, la malade éprouva des signes d'amélioration, surtout dans la sensibilité; et d'abord un sentiment de démangeaison; le quinzième jour, elle exécuta, quoique péniblement, quelques mouvements du pied; le vingt-et-unième jour, elle put sortir quoique se soutenant avec peine; de ce moment l'amélioration fut progressive, et quatre jours après elle marchait sans fatigue. Ce cas d'amélioration dans la paralysie n'est pas le seul que M. Marianini ait obtenu; si le récit que nous venons de faire ne provenait pas de M. Marianini, nous penserions à douter un peu de l'en-

tière guérison du malade ; tout en avouant cependant que le traitement suivi était très-rationnel, attendu qu'étant graduel, il tend à rétablir peu à peu les fonctions nerveuses en faisant passer les nerfs par des transitions lentes, de l'état d'atonie à l'état normal, si toutefois l'on peut arriver à ce dernier.

Nous répétons *encore* que c'est la meilleure manière d'employer l'électricité, pour réveiller dans les diverses parties du corps les fonctions nerveuses engourdies et non éteintes.

M. Nobili a indiqué aussi un mode de traitement pour le tétanos, en s'appuyant sur les observations qu'il avait faites dans les expériences sur les contractions de la grenouille et son courant propre. Nous nous bornerons à indiquer les principes qui l'ont guidé. Quand on applique l'électricité à un membre paralysé, on a pour but d'exciter le système nerveux de manière à rendre au muscle la faculté de se contracter ; on ne peut, dès lors, employer l'action continue du courant qui tend à affaiblir l'irritabilité nerveuse ; l'action d'un courant discontinu, produisant un effet contraire, doit être préférée. Dans le tétanos, on doit préférer la première. Du reste, ces vues sont celles de M. Marianini.

M. Matteucci, en prenant en considération les résultats obtenus par ses devanciers, a soumis au traitement électrique un homme pris de tétanos, à la suite d'un coup de feu. A cet effet, il a fait passer un courant inverse dans la moelle épinière. Les accidents ont disparu pendant le passage du courant ; mais le malade ne fut pas guéri pour cela.

Nous n'avons nullement l'intention de parler des tentatives plus ou moins infructueuses qui ont été faites dans le traitement des maladies par l'électricité, attendu qu'il n'y a peut-être pas de maladies où on ne l'ait employée, et presque toujours sans discernement, c'est-à-dire, sans avoir fait une étude approfondie des propriétés de l'électricité, soit comme force physique, soit comme force chimique. Nous avons dû nous en tenir aux phénomènes généraux, afin de mettre à même les praticiens d'utiliser un agent qui, dans les maladies nerveuses surtout, peut produire de bons effets, en ne perdant pas de vue, cependant, que lorsqu'il y a surexcitation, il faut employer les courants continus ; et, au contraire, les courants interrompus quand il y a atonie.

FIN.

C09131

TABLE DES MATIÈRES.

SUITE DU LIVRE III.

CHAPITRE IV.

Pages.

De la chaleur spécifique des corps simples et composés, et des lois qui la régissent 1
De la chaleur spécifique des corps simples, solides et liquides..... 6
De la chaleur spécifique des corps composés..... 13
De la chaleur spécifique des gaz..... 23
Capacité calorifique de différents gaz sous une même pression..... 26
De la nature des températures..... 29
Des instruments destinés à mesurer la température des mers, des lacs et de l'intérieur de la terre..... 38
Thermomètre à minimum construit d'après les mêmes principes que le précédent..... 39
Du thermométrographe..... 40

CHAPITRE V.

De la production de la chaleur dans les corps organisés vivants.

Des moyens de mesurer la température des parties intérieures de l'homme et des animaux..... 43
De la différence entre la température du sang artériel et celle du sang veineux..... 55
Des variations de température dans différents cas pathologiques.... 58
De la température des insectes dans ses rapports avec les fonctions de la respiration et de la circulation..... 59
De la température des animaux à sang froid, en faisant concourir à sa détermination les appareils thermo-électriques et les thermomètres..... 62
De la température de la grenouille..... 64
Id. du crapaud..... *ib.*
Id. du lézard..... 65
Id. de l'orvert..... *ib.*
Id. de la couleuvre..... *ib.*
Id. de l'escargot..... 66
Id. des moules, mollusques et autres animaux à la sortie de l'eau..... *ib.*
Id. des reptiles de la Ménagerie du Muséum d'histoire naturelle, se trouvant dans un milieu dont la température était d'environ 17°,50..... 67
Tableau des températures de divers animaux observées par M. John Davy..... 68
De la faculté que possèdent l'homme et les animaux de résister aux effets de la température extérieure..... 70
Des causes qui concourent à la production de la chaleur animale.... 73
De la température propre des végétaux..... 83
Des appareils thermo-électriques destinés à l'étude des phénomènes calorifiques des plantes..... 85
De la température des fleurs..... 88

LIVRE IV.

DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

Pages.
De la lumière solaire..... 89
Mesure de l'intensité de la lumière directe..... 90
Des divers rayons colorés dont se compose la lumière solaire..... 93
Des raies du spectre produit par la lumière solaire et la lumière des étoiles..... 97

CHAPITRE II.

De la lumière d'incandescence ou d'irradiation, et des flammes proprement dites..... 100
De la température des flammes..... 106
Nouveaux développements relatifs aux lumières artificielles..... 110
Des raies observées dans la lumière des flammes..... 112
Des modifications subies par la flamme dans diverses circonstances. 113
Des propriétés des toiles métalliques..... 118

CHAPITRE III.

De la lumière électrique..... 122
De la composition de la lumière électrique..... 127

CHAPITRE IV.

De la phosphorescence..... 129
De la phosphorescence due aux effets de clivage, de frottement et à la percussion..... 129
De la phosphorescence produite dans la cristallisation..... 133
De la phosphorescence par élévation de température..... 137
De la phosphorescence des substances combustibles par la chaleur.. 141
Des diverses espèces de lumière phosphorique..... 142
Des différentes causes qui influent sur les phénomènes de phosphorescence par la chaleur..... 143
Influence de l'eau de cristallisation..... 147
Influence de l'état des surfaces..... 148
Influence des masses..... 149
De la phosphorescence produite sous l'influence de la lumière électrique..... 150
Phosphorescence par insolation..... 163
Des phosphores artificiels..... 167
Du spectre phosphorogénique..... 168
Phosphorescence spontanée..... 173
De la phosphorescence des lampyres..... 176
Phosphorescence de la mer..... 179
Conclusion..... 181

CHAPITRE V.

De la lumière des astres en général et des lumières météoriques.... 183
De la lumière des comètes..... 188

Digitized by Google

Pages.
De la lumière des étoiles 190
De la lumière zodiacale..... 193
De la lumière des étoiles doubles..... *ib.*
De l'aurore boréale..... 194
Des étoiles filantes..... 196

LIVRE V.

CHAPITRE PREMIER.

De la pesanteur..... 199

CHAPITRE II.

De la cohésion..... 209
De la cristallisation, 209. — De la dureté, 213. — De l'élasticité, 215. — De l'élasticité de torsion, 219. — De la ténacité, 220.

CHAPITRE III.

De l'affinité 221
Influence de la cohésion, 225. — Influence de la chaleur, 229. — Influence de la quantité, 231. — Influence de la pression, 232. — De la mesure des affinités, 234. — Des rapports entre l'affinité et l'électricité, 234.

CHAPITRE IV.

Des phénomènes capillaires..... 238
Des effets capillaires dans les corps inorganisés..... 244
Infiltration et absorption des liquides..... 247
De l'écoulement des liquides dans les tubes de très-petits diamètres. 251

CHAPITRE V.

De l'endosmose et de l'exosmose..... 264
Théorie de l'endosmose 274
Des phénomènes d'imbibition et d'absorption dans les animaux.... 278
De l'absorption du principe colorant de la garance par les os..... 282
Des phénomènes d'imbibition, d'absorption, d'hygroscopicité dans les végétaux..... 283
De l'ascension de la séve dans les végétaux..... 285
Des effets produits dans les végétaux par l'imbibition de substances vénéneuses et montrant l'influence de l'endosmose..... 287
Explication de différents phénomènes dépendant de l'endosmose, de l'ascension de la séve dans les végétaux..... 291
De la manière dont agit la distase pour déterminer la rupture des téguments de la fécule..... 294

LIVRE VI.

DE L'ÉLECTRO-CHIMIE.

CHAPITRE PREMIER.

Description et emploi des appareils.

Pages.
Des appareils..... 297
Des eudiomètres..... 307
De l'emploi de l'action calorifique de l'électricité pour opérer des fusions..... 309
Des effets chimiques produits au moyen des actions mécaniques... 311

CHAPITRE II.

Des décompositions électro-chimiques opérées au moyen des appareils simples et composés, et des machines électriques..... 316
De quelques conditions générales des décompositions électro-chimiques..... 319
De la loi des masses..... 324
De la balance électro-magnétique..... 326
Action du courant sur plusieurs dissolutions..... 330
De la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution. 339
Nouvelle nomenclature électro-chimique..... 341
Des décompositions chimiques opérées au moyen de l'électricité libre..... 342
Des caractères usités en électro-chimie pour constater la production d'actions chimiques..... 345

CHAPITRE III.

Propriétés électro-chimiques des corps simples et composés, 347. — Oxygène, 348. — Des métalloïdes simples et composés, 349. — Hydrogène, 350. — Bore, 351. — Silicium, 352. — Carbone, 355. — Carbures d'hydrogène, 357. — Phosphore, 358. — Phosphures d'hydrogène, 359. — Soufre, 359. — Sulfure de carbone, 361. — Sélénium, 361. — Fluor, 362. — Chlore, 363. — Acide chlorhydrique, 365. — Chlorure de carbone, 366. — Sesquichlorure, 366. — Brôme, 367. — Iode, 36 . — Azote, 371. — Air atmosphérique, 372. — Cyanogène ou azoture de carbone, 374. — Eau, 375. — Acide borique, 378. — Acide silicique ou silice, 378. — Oxyde de carbone, 379. — Acide carbonique. *Id.* chloro-carbonique, 380. — *Id.* phosphorique, 380. — *Id.* sulfureux, 381. — *Id.* sulfurique, 382. — Protoxyde d'azote, 383. — Bioxyde d'azote du gaz nitreux, 383. — Acide azotique (acide nitrique), 384. — *Id.* sulfhydrique, 385 — Ammoniaque ou azoture d'hydrogène, 385. — Formiat ou spontanée de l'ammoniaque, 387. — Des tentatives faites pour isoler le radical de l'ammoniaque, 388. — Bioxyde d'hydrogène ou eau oxygénée, 390. — Des métaux, 390. — De la réduction des oxydes, 394. — Potassium, 395. — Sodium, 396. — Lithium, 396-97. — Barium, 397. — Strontium, 398. — Calcium, 398. — Magnésium,

Pages.
398. — Aluminium, 400. — Glucium, 400. — Zirconium, 400. — Thorium, 401. — Yttrium, 401. — Arsenic, 401. — Chrôme, 403. — Molybdène, 403. — Antimoine, 404. — Tellure, 404. — Tantale, 405. — Titane, 406. — Or, 406. — Essais électro-chimiques des dissolutions d'or dans l'eau régale, 407. — Séparation de l'or d'une dissolution qui renferme du cuivre, du fer ou du plomb, 409. — Osmium, 410. — Platine, 411. — Palladium, 412. — Pleodium, 413. — Argent, 413. — Mercure, 415. — Cuivre, 416. — Céranium, 417. — Bismuth, 417. — Étain, 418. — Plomb, 419. — Cadmium, 419. — Zinc, 420. — Nickel, 421. — Cobalt, 421. — Fer, 422. — Manganèse, 423. — Cérium, 424.
Des états différents sous lesquels les métaux sont réduits par l'action des courants..... 424

CHAPITRE IV.

Des oxydes, sulfures, chlorures et autres composés métalliques.

Oxydes..... 427
De la potasse et de la soude..... 428
Autre procédé pour séparer la potasse et la soude de leurs sulfates.. *ib.*
Hydrate de chaux..... 429
Du peroxyde d'argent..... *ib.*
Oxydes de cuivre..... 430
Oxydes de plomb..... 431
Oxyde de zinc..... 433
Des peroxydes de fer et de manganèse..... *ib.*
De la cémentatine..... 434
Des chlorures et doubles chlorures métalliques..... 436
Des sulfures et doubles sulfures..... 438
Des iodures et doubles iodures..... 444
Exposé d'une méthode générale pour obtenir cristallisés divers produits, le soufre, le sulfate et le carbonate de baryte, de plomb.... 445
De l'action de l'électricité à forte tension sur les substances insolubles..... 449
De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles..... 451
Des carbonates insolubles..... 455

CHAPITRE V.

Des effets électro-chimiques produits dans les corps et les substances organiques sous l'influence des courants.

Du dégagement de l'électricité dans l'acte de la végétation..... 458
De l'action des courants énergiques sur les principes immédiats des plantes..... 460
De l'action des courants provenant de l'électricité à petite tension, comme moyen d'analyse dans les composés organiques..... 461
De l'action des courants sur l'alcool et l'éther, et divers autres composés..... 462
Décomposition électro-chimique des solutions alcooliques..... 464
Des modifications chimiques qu'éprouvent l'alcool et l'éther sous la double influence du courant voltaïque et du platine..... 465

Pages.
De l'influence de l'électricité sur la fermentation alcoolique..... 466
Action de l'électricité sur les matières animales..... 467
De la coagulation de l'albumine..... 468

LIVRE VII.

De l'action de la chaleur sur les corps..... 471

CHAPITRE PREMIER.

De la transmission de la chaleur rayonnante dans les corps..... 472
Du spectre calorifique..... 484
De l'action de la chaleur pour changer la structure des corps ou les décomposer..... 486

LIVRE VIII.

ACTION DE LA LUMIÈRE SUS LES CORPS

CHAPITRE PREMIER.

Action chimique de la lumière.

Préliminaires..... 487
Substances et papiers sensibles..... 488
Corps qui éprouvent des modifications physiques sans changement de nature..... 489
Corps ou combinaisons détruits en partie ou en totalité par l'influence de la lumière..... 490
Corps modifiés dans leur constitution sans changement de nature... *ib.*
Corps dont la combinaison s'effectue sous l'influence solaire..... 491
Corps ou combinaisons détruits en partie ou en totalité sous l'influence des rayons solaires..... 494
Papiers sensibles..... 498
Du spectre chimique..... 502
De l'actinomètre électro-chimique..... *ib.*
Des écrans transparents incolores..... 517
Des différents prismes..... 524
Des écrans colorés..... 525
Lois physiques des rayons chimiques..... 528

CHAPITRE II.

De l'emploi de la lumière polarisée pour distinguer, dans quelques cas, les mélanges des combinaisons chimiques définies ou non définies. 530
Rotation du cristal de roche..... 535
Pouvoir rotatoire des sucres, de la dextrine et de différents sucs végétaux..... 540
Rotation des camphres et des huiles essentielles..... 545
Du pouvoir rotatoire de l'acide tartrique..... 547

Pages.

CHAPITRE III.

De la détermination de la constitution lamellaire des corps cristallisés, au moyen des effets qu'éprouve la lumière polarisée en les traversant..... 550
De l'alun..... 556

CHAPITRE IV.

Des rapports entre le pouvoir réfringent des corps et leur densité... 560

CHAPITRE V.

Des images produites par l'influence des corps les uns sur les autres.. 565

LIVRE IX.

INTERVENTION DES FORCES PHYSIQUES DANS LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

Des végétaux..... 568

CHAPITRE II.

Influence de la chaleur sur la végétation..... 572

CHAPITRE III.

Action de la lumière sur les végétaux..... 576
Action de la lumière sur les plantes pour leur imprimer une direction..... 578

CHAPITRE IV.

Action de l'électricité sur la végétation..... 580
Des causes qui peuvent produire des courants électriques dans les végétaux..... 581
De l'influence de l'électricité sur la végétation..... 582

CHAPITRE V.

De l'intervention des forces physiques dans les phénomènes de la vie chez les animaux..... 587
Action physiologique de l'électricité à forte tension..... 591
Phénomènes des contractions produites sous l'influence de l'électricité voltaïque..... 593
Causes qui modifient l'action de l'électricité sur les nerfs. Effets de la ligature..... 595
Alternations voltaïques..... 596
Des sensations produites dans la grenouille par le passage du courant..... 598

Pages.
Lois suivant lesquelles l'activité de la grenouille diminue..... 599
Des contractions tétaniques..... 600

CHAPITRE VI.

Du courant propre des animaux..... 600
Des lois suivant lesquelles varie le courant musculaire. Influence de la température sur l'intensité de ce courant..... 605
Du courant propre dans les animaux à sang chaud..... 607

CHAPITRE VII.

Des contractions obtenues par l'excitation galvanique sur l'homme et les animaux après une mort violente. Théorie des contractions. 611
Théorie des contractions fondée sur les principaux faits connus.... 612

CHAPITRE VIII.

Emploi de l'électricité dans l'étude de la physiologie..... 614
De l'emploi de l'électricité pour distinguer les nerfs du mouvement des nerfs du sentiment..... 641
Action du courant sur différents tissus..... 617
Des impressions produites sur les nerfs par le passage des courants. 618

CHAPITRE IX.

Des poissons électriques..... 620
Des moyens employés pour reconnaître l'origine électrique de la décharge de la torpille..... 622

CAAPITRE X.

Des contractions produites sous l'empire de la volonté..... 630

CHAPITRE XI.

De l'emploi de l'électricité dans la thérapeutique..... 633
Note relative aux expériences de M. Faraday sur le dégagement de l'électricité dans l'expansion de la vapeur des chaudières à vapeur. 653

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

NOTE.

En traitant du dégagement de l'électricité dans l'expansion de la vapeur des chaudières à vapeur, nous avons omis de mentionner le travail et les expériences de M. Faraday. Nous réparons ici cette omission.

Il résulte des expériences qu'il a faites, qu'il ne se dégage jamais d'électricité par le passage seul de la vapeur, mais bien lorsqu'il se trouve de l'eau mêlée avec elle. M. Faraday a conclu de là que l'électricité est produite par le frottement des globules de l'eau contre les parois du cylindre, ou contre les substances qui s'opposent à leur sortie lorsqu'elles sont rapidement entraînées par le mouvement de la vapeur. On conçoit très-bien par là comment il se fait qu'il se dégage d'autant plus d'électricité, que la pression et la force de projection de la vapeur sont plus considérables ; car on n'a pas à craindre alors que la vapeur mouille les parois, condition essentielle pour la production de l'électricité, qui s'opère de telle manière, que généralement la vapeur ou l'eau est positive, et les solides, quels qu'ils soient, négatifs.

Lorsqu'un fil métallique se trouve dans le courant de la vapeur, à quelque distance de l'orifice par où elle sort, ce fil sert de conducteur et prend à la vapeur son électricité positive. La chaleur, qui s'oppose à la condensation de la vapeur, empêche le développement de l'électricité qui se manifeste promptement en refroidissant le canal d'une manière suffisante pour obtenir la condensation. Il n'y a de dégagement d'électricité qu'autant que l'eau est pure ; la présence d'une petite quantité de sel ou d'acide détruit la faculté. En ajoutant de l'huile de térébenthine, les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire que la vapeur est négative.

M. Faraday a montré, comme du reste on le savait déjà, qu'on obtient des effets semblables en substituant un courant d'air au courant de vapeur. Quand ce courant renferme de l'humidité, l'air emporte l'électricité; quand l'air est sec, il y a absence d'effets; en mêlant à l'air des poudres sèches, il y a dégagement d'électricité, dont l'espèce dépend de la nature des poudres.

ERRATA.

Page 120, ligne 26. Au moyen d'un tube extérieur, *lisez :* au moyen d'un tube extérieur (fig. 1 et 7, pl. IX).

Page 121, ligne 2. Clou rivé, *lisez :* clou rivé servant à boucher l'orifice de ce tube (fig. 2 et 5, pl. IX).

Idem, ligne 8. La mèche, *lisez :* la mèche (fig. 8 et 9, pl. IX).

Idem, ligne 9. L'enveloppe L, *lisez :* l'enveloppe L (fig. 6, pl. IX).

Idem, ligne 31. Pas de vis, *lisez :* pas de vis (fig. 10 et 11, pl. IX).

Page 344, ligne 12. (pl. III, fig. 7), *lisez :* (pl. XI, fig. 7).

Page 354, ligne 10. (pl. III, fig. 9), *lisez :* (pl. XI, fig. 9).

Page 358, ligne 25. Hydrogène bi-carboné, *lisez :* hydrogène.

Page 365, ligne 3. L'eau acidulée, *lisez :* l'eau.

Page 374, dernière ligne. Gaz azoté, *lisez :* gaz azote.

Page 375, 1re ligne. Un volume de gaz carbonique, *lisez :* deux volumes de gaz carbonique.

Page 379, avant-dernière ligne. Un demi-volume, *lisez :* un volume.

Page 381, ligne 16. A 20°, *lisez :* à 20° au-dessous de zéro.

Idem, avant-dernière ligne. Deux mélanges, *lisez :* deux volumes.

Page 396, ligne 11. Et plongeait, *lisez :* et l'entonnoir plongeait.

Page 447, ligne 12. A, B, C, *lisez :* A, A', A''.

Page 512, ligne 15. Pl. XII, fig. 11. *lisez :* pl. XIII, fig. 11.

Page 519, ligne 11. Pl. XII, fig. 7, *lisez :* pl. XIII, fig. 7.

Page 520, ligne 20. Pl. XII, fig. 4, *lisez :* pl. XIII, fig. 4.

Page 521, ligne 11. Entre I et P. *lisez :* entre H et P.

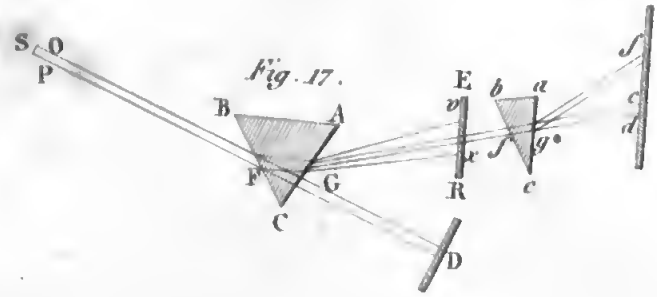
Idem, ligne 12. Pl. XII, fig. 5, *lisez :* pl. XIII, fig. 5.

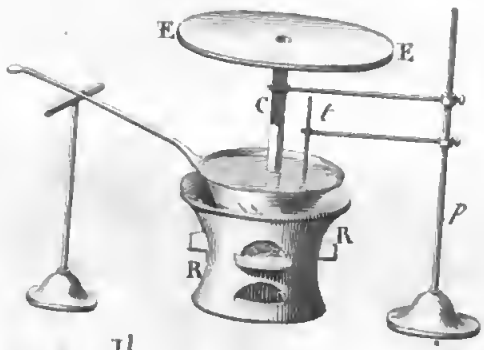
Page 533, ligne 8. Pl. XII, fig. 1, *lisez :* pl. XIII, fig. 5.

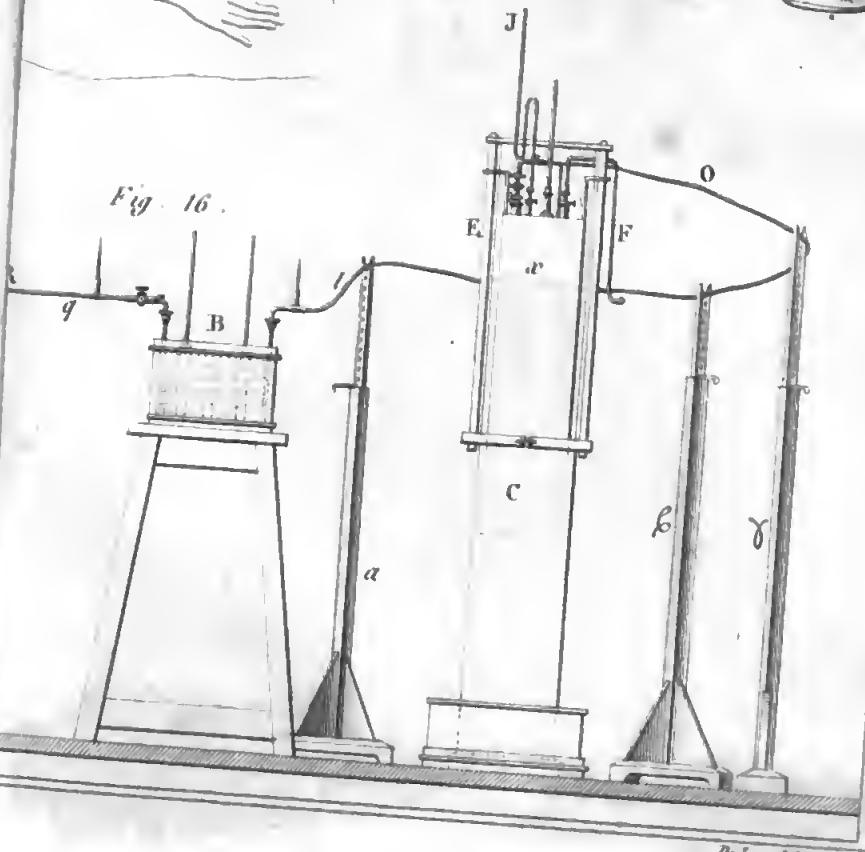
Page 535, ligne 9. Pl. XII, *lisez :* pl. XIII.

Page 551, ligne 10. Pl. XII, *lisez :* pl. XIII.

Page 552, ligne 20. Pl. XII, *lisez :* pl. XIII.

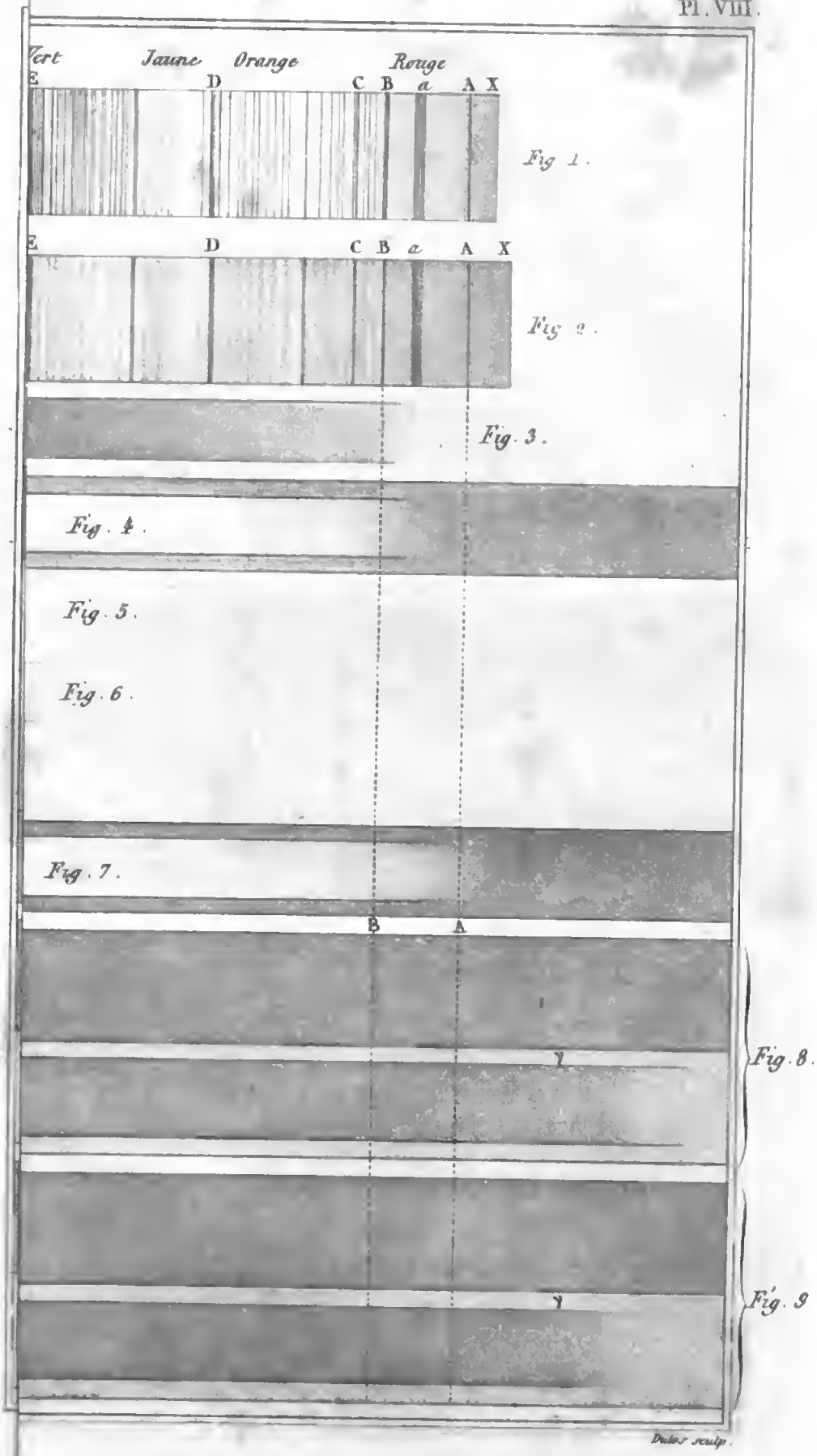






Dulac del. et sculp.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

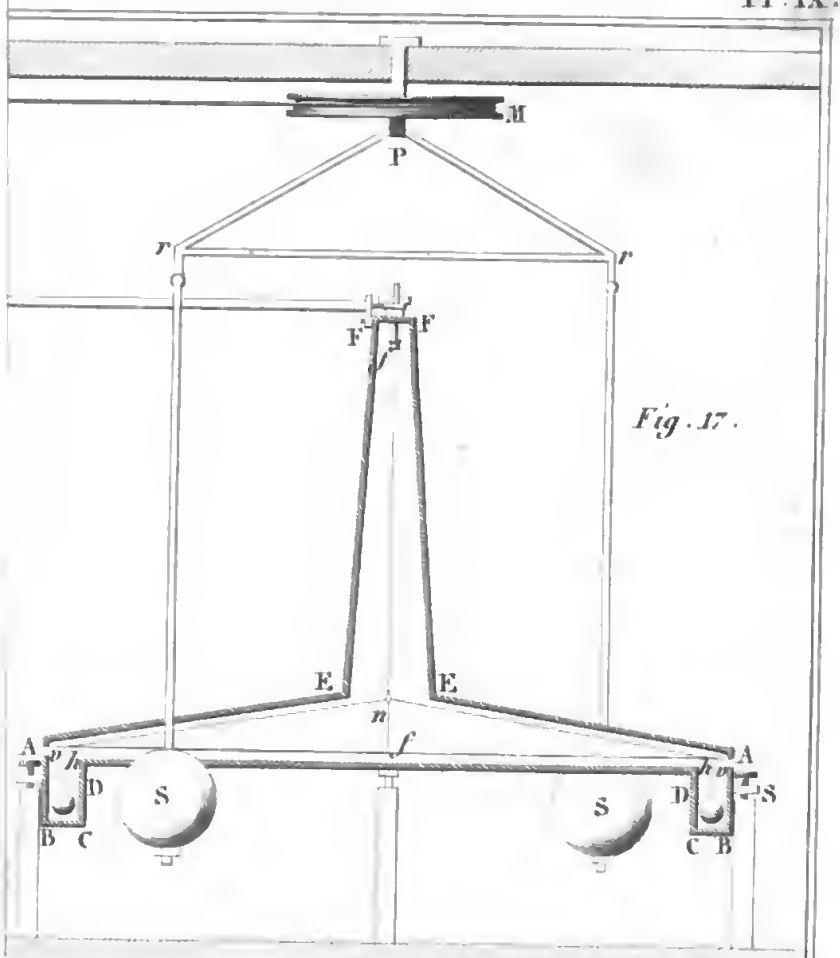


Fig. 17.

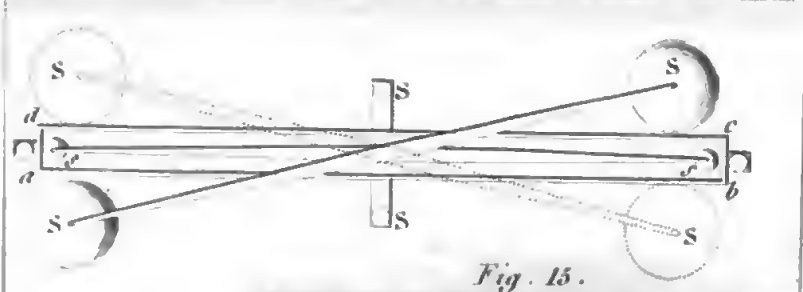


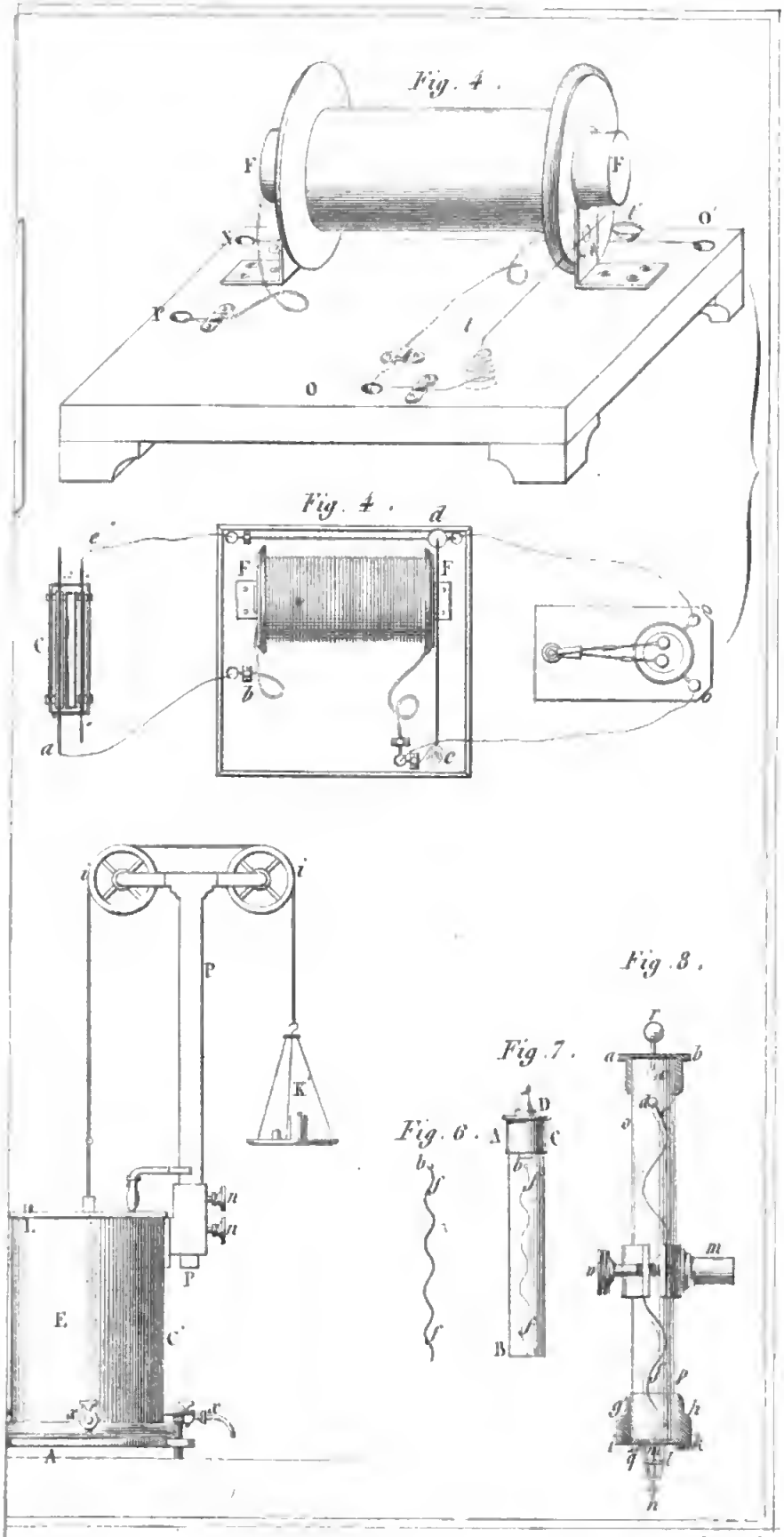
Fig. 15.

Fig. 14.

Dulac del et sculp.

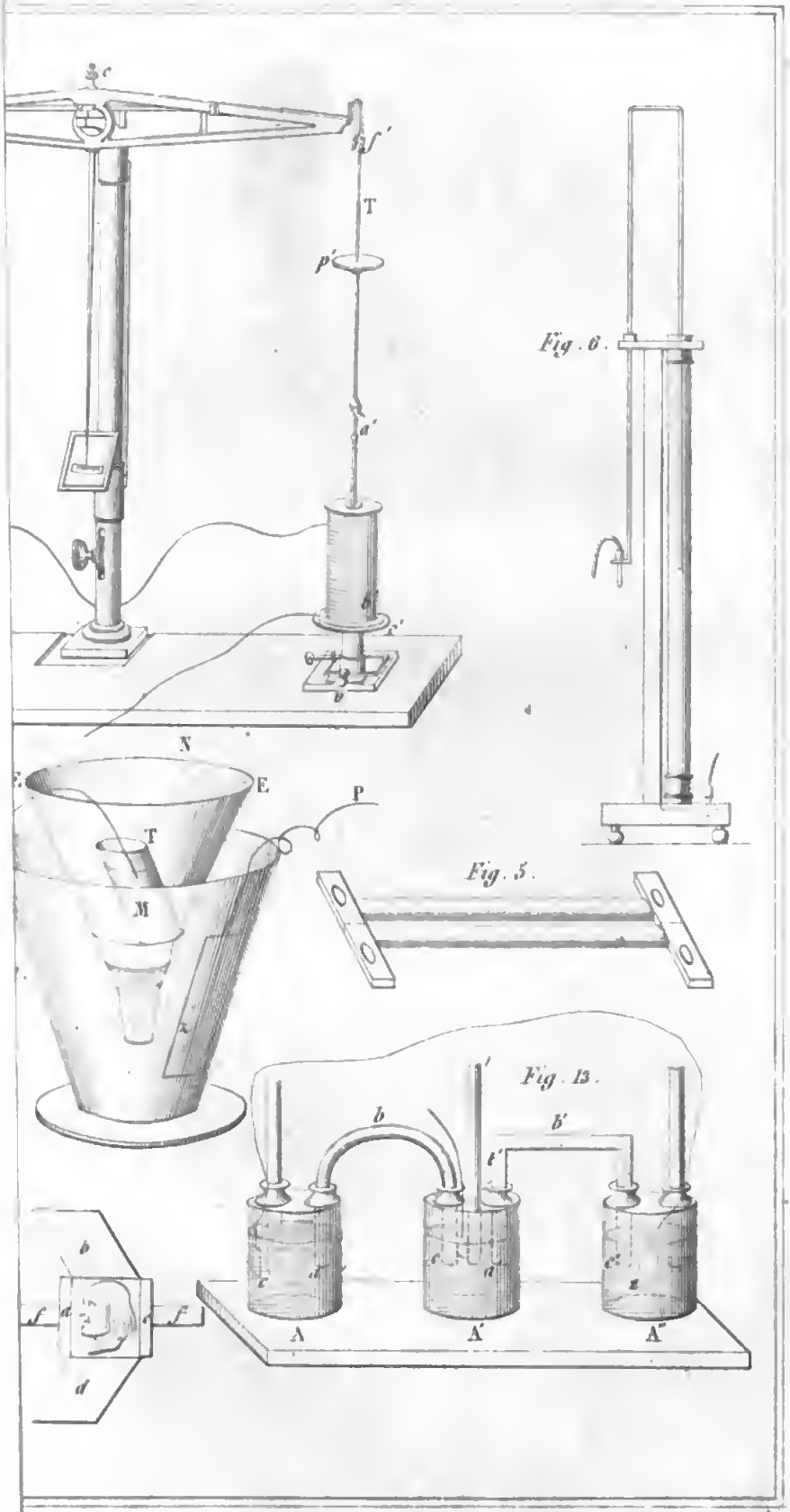
Digitized by Google

Digitized by Google



Dulos del. et sculp.

Digitized by Google



Dulos del et sculp.

Digitized by Google

Fig. 2.

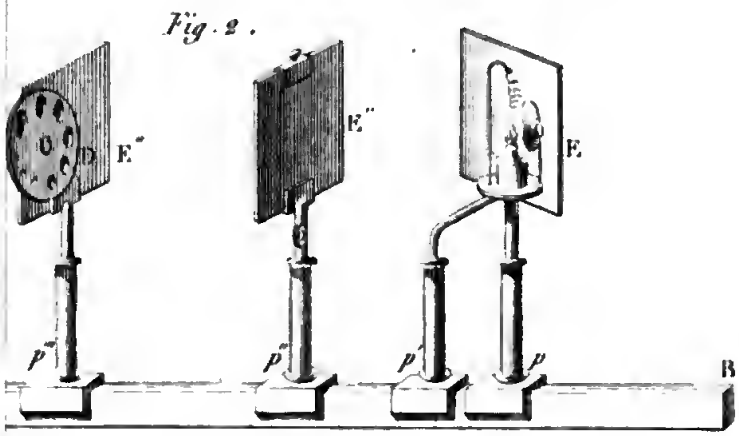


Fig. 3.

Fig. 3 bis.

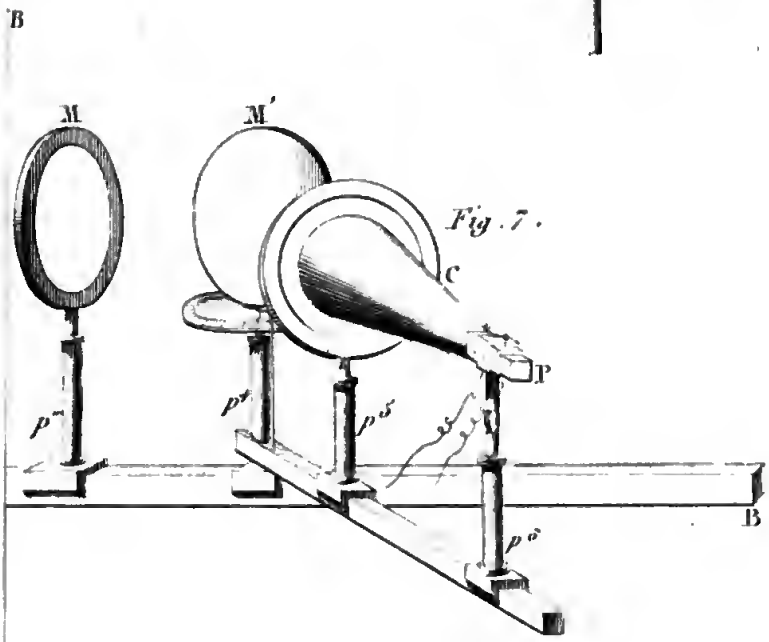


Fig. 7.

Dubos sculp.

Digitized by Google

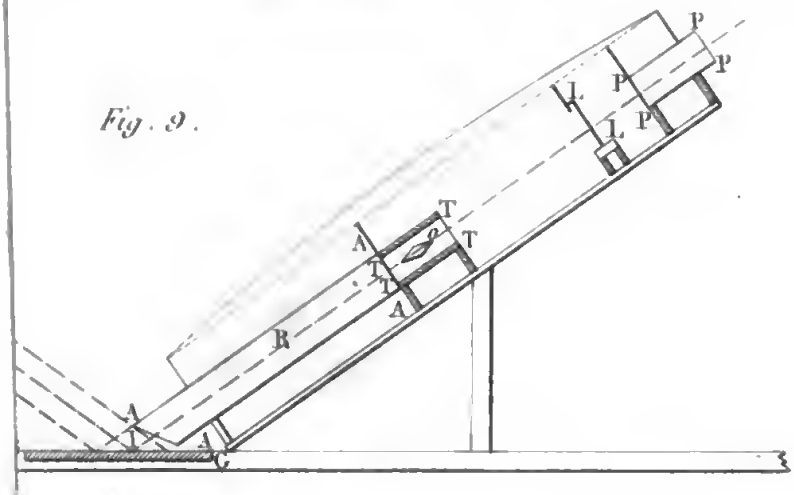


Fig. 9.

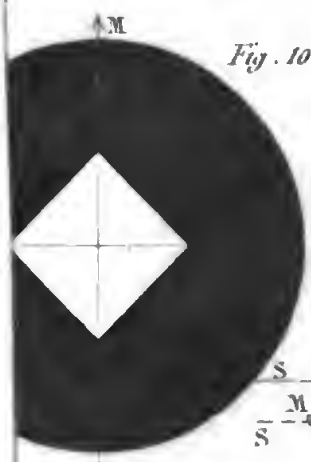


Fig. 10.

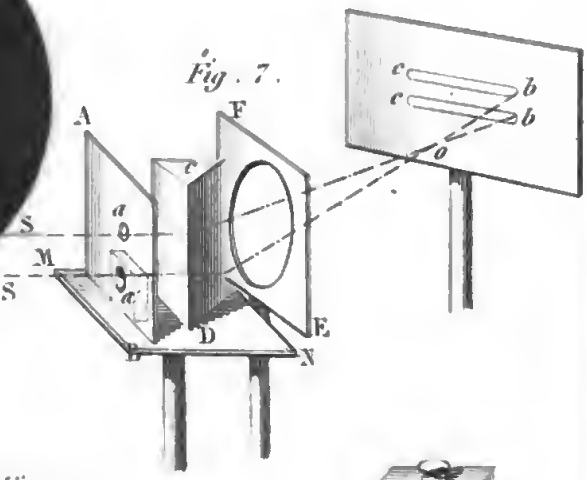


Fig. 7.

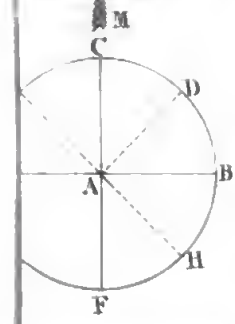


Fig. 12.

Fig. 8.

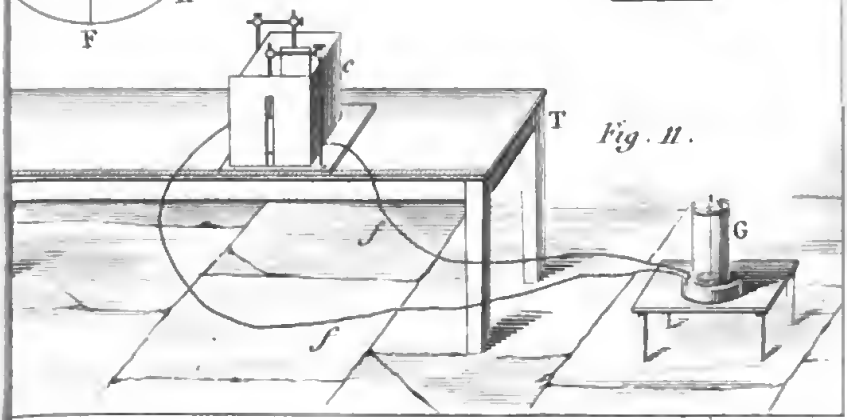


Fig. 11.

Bulos del. et sculp.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Google